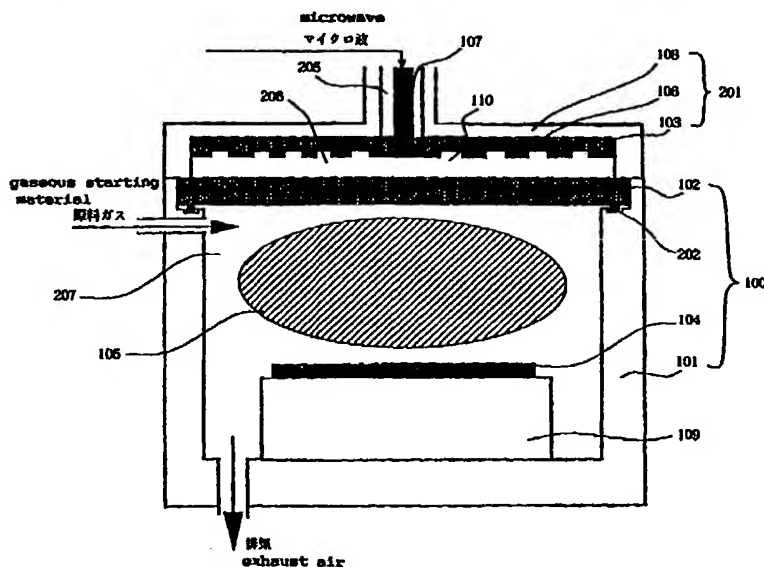




(51) 国際特許分類 H05H 1/46, H01L 21/31, 21/3065, 21/205, C23F 4/00, C23C 16/50	A1	(11) 国際公開番号 WO98/33362 (43) 国際公開日 1998年7月30日(30.07.98)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/00364 (22) 国際出願日 1998年1月29日(29.01.98) (30) 優先権データ 特願平9/15790 1997年1月29日(29.01.97) 特願平9/133422 1997年5月23日(23.05.97) 特願平9/278062 1997年9月25日(25.09.97) (71) 出願人；および (72) 発明者 大見忠弘(OHMI, Tadahiro)[JP/JP] 〒980 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2丁目1番17号301 Miyagi, (JP) (72) 発明者；および (75) 発明者／出願人（米国についてのみ） 新田雄久(NITTA, Takahisa)[JP/JP] 〒113 東京都文京区本郷4丁目1番4号 株式会社 ウルトラクリーンテクノロジー開発研究所内 Tokyo, (JP)		平山昌樹(HIRAYAMA, Masaki)[JP/JP] 高野晴之(TAKANO, Haruyuki)[JP/JP] 海原 竜(KAIWARA, Ryu)[JP/JP] 〒980 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学工学部 電子工学科内 Miyagi, (JP) (74) 代理人 弁理士 福森久夫(FUKUMORI, Hisao) 〒102 東京都千代田区九段南4丁目5番11号 富士ビル2F Tokyo, (JP) (81) 指定国 JP, US. 添付公開書類 国際調査報告書
(54) Title: PLASMA DEVICE (54) 発明の名称 プラズマ装置 (57) Abstract A plasma device which is provided with a container (100), a gas supply system, and an exhaust system. The container (100) is composed of a first dielectric plate (102) made of a material which can transmit microwaves. An antenna (201) for radiating microwaves is positioned on the outside of the container (100), and an electrode (109) for holding an object (104) to be treated is disposed on the inside of the container (100). The microwave radiating surface of the antenna (201) and the surface of the object (104) to be treated with plasma are opposed to each other in parallel. The other wall section of the container (100) than that composed of the first dielectric plate (102) is composed of a member of a material having electrical conductivity higher than that of aluminum, or the internal surface of the wall section is coated with the member. The thickness (d) of the member is larger than $(2/\mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$, where σ , μ_0 , and ω respectively represent the electrical conductivity of the member, the permeability in vacuum, and the angular frequency of the microwaves radiated from the antenna.		



(57) 要約

本発明は、容器（１００）とガス供給システムと、排気システムとを有し、前記容器を構成する壁部の一部はマイクロ波を透過できる材料からなる第１の誘導体板（１０２）であり、該第１の誘電体板を挟んで、該容器の外側にはマイクロ波を放射するアンテナ（２０１）と、該容器の内側には被処理体（１０４）を保持する電極（１０９）とを設け、該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを平行に対向して配置したプラズマ装置において、前記第１の誘電体板以外の前記容器の壁部は、少なくともＡ１以上の導電率を有する材料からなる部材又は該壁部の内側が該部材で被覆されており、かつ、該部材の厚さを d 、該部材の導電率を σ 、真空の透磁率を μ_0 、該アンテナから放出するマイクロ波の角振動数を ω とした場合、前記 d は $(2 / \mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$ より大きい。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード（参考情報）

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SN	セネガル
AM	アルメニア	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AT	オーストリア	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	TD	チャード
AC	オーストラリア	GB	英国	MC	モナコ	TG	トーゴ
AZ	アゼルバイジャン	GE	グルジア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GH	ガーナ	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BB	バルバドス	GM	ガンビア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BE	ベルギー	GN	ギニア	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BF	ブルキナ・ファソ	GW	ギニア・ビサウ	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BG	ブルガリア	GR	ギリシャ	MR	モリタニア	UG	ウガンダ
BJ	ベナン	HU	ハンガリー	MW	マラウイ	US	米国
BR	ブラジル	ID	インドネシア	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
BY	ベラルーシ	IE	アイルランド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CA	カナダ	IL	イスラエル	NL	オランダ	YU	ユーゴスラヴィア
CF	中央アフリカ	IS	アイスランド	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CG	コンゴ共和国	IT	イタリア	NZ	ニュージーランド		
CH	スイス	JP	日本	PL	ポーランド		
CI	コートジボアール	KE	ケニア	PT	ポルトガル		
CM	カメルーン	KG	キルギス	RO	ルーマニア		
CN	中国	KP	北朝鮮	RU	ロシア		
CU	キューバ	KR	韓国	SD	スーダン		
CY	キプロス	KZ	カザフスタン	SE	スウェーデン		
CZ	チェコ	LC	セント・ルシア	SG	シンガポール		
DE	ドイツ	LI	リヒテンシュタイン	SI	スロヴェニア		
DK	デンマーク	LK	スリランカ	SK	スロヴァキア		
EE	エストニア	LR	リベリア	SL	シエラ・レオネ		
ES	スペイン	LS	レソト				

明細書

プラズマ装置

5 技術分野

本発明は、プラズマ装置に係る。

背景技術

近年、U L S I (Ultra Large Scale Integrated Circuit) のチップサイズの
10 大型化に伴い、その基体として用いられるシリコン基板も大口径化される傾向に
ある。基体が大口径化されると一枚ずつ処理を行う枚葉処理が主流となるため、
エッチングにしても成膜にしても高い生産性を維持するために毎分1mm以上の
高速処理が要求される。高速処理を可能とする大口径基板対応用のプラズマ装置
15 には、電子密度が 10^{11} cm^{-3} を越える高密度プラズマが生成可能なこと、及び
高速処理によって基板表面から放出される大量の反応生成物を効率的に除去する
ために大量のガスを流し得ることが不可欠である。高密度プラズマを生成可能と
するため、磁場を導入した平行平板型のプラズマ装置が開発された。従来のこの
種のプラズマ装置として、ダイポールリングマグネットを利用したマグネトロン
20 プラズマエッチング装置が公開されている（引例①：特開平6-37054号公
報）。

図43は、従来のダイポールリングマグネットを利用したマグネトロンプラズ
マエッチング装置の概略図を示したものである。図43(a)は、エッチング時
の状 態、図43(b)は、基体搬送時の状態を示している。図中、4301は
真空容器、4302は電極I、4303は基体、4304はガス導入口、
25 4305はシャワープレート、4306はダイポールリングマグネット、
4307はベローズ、4308は多孔板、4309はゲートバルブ、4310は
基体搬送口、4311はガス排気口、4312は真空ポンプ、4313は整合回
路、4314は高周波電源である。

エッチング時にガス導入口4304から導入された原料ガスは、シャワーブ

レート4305の多数の小孔から放出される。この原料ガス、及びエッチング反応によって基体表面から放出された反応生成ガスは、電極I4302側部、多孔板4308、ガス排気口4311を通り、排気ポンプ4312によって外部へ排気される。多孔板4308は、基体4303上の空間とガス排気口4311間の

5 ガスのコンダクタンスを低下させ、ガスが基体4303上の空間を回転方向にほぼ均一に流れるようにする目的で設けられたものである。ガスが基体4303上の空間を回転方向に均一に流れるようにするためには、必然的に基体4303上の空間とガス排気口4311間のガスのコンダクタンスが制限され、大量のガスを流せないという問題があった。このため、大口径基体上の高速エッチングで

10 は、エッチング速度の低下、エッチング形状の悪化という問題が生じていた。

基体搬送時には、電極I4302の位置を図43(b)のごとく下げて、ゲートバルブ4309、及び基体搬送口4310を通して外部の基体搬送機構を用いて基体を搬送する。電極I4302を移動させるためには、ベローズ4307が必要となる。プラズマ生成時には、ベローズ4307に高周波電流が流れて電力

15 損失が発生し、高周波電源4314の高周波出力電力を効率よくプラズマに供給することができないという問題があった。また、電極I4302を移動させるための複雑な機構が必要となるという問題があった。

また、マイクロ波を用いたプラズマ装置として電子サイクロトロン共鳴(ECR)を用いた装置が挙げられる。この装置は、高密度で均一なプラズマを

20 基板上に励起することは可能であるが、局所的に高密度のプラズマが励起し、広い容器内で拡散させて被処理体上に均一に供給する方法であるため、シャワープレートを設置することが困難であり、反応副生成物ガスを速やかに除去することが困難であった。

また、マイクロ波を用いた高密度プラズマ装置としては、ラジアルラインスロットアンテナを用いた装置が挙げられる(特開平8-111297号公報)。しかし、この装置を実際に使用すると必ずしも高密度のプラズマを長期間にわたり

25 安定的に発生させることができない。また、プラズマを発生させるための条件が明確ではない。

本発明は、容器内部が狭い空間内部において、プラズマ電位の低い大面積にお

- いて均一な高密度プラズマを励起し、且つシャワープレートに相当する機構を採用することで原料ガス供給の均一化および反応副生成物ガス的高速除去ができるため、大面積の基板上に高品質の薄膜を低温且つ高速で均一に成膜でき、エッチングプラズマプロセスその他のプラズマ処理にも使用できるプラズマ処理装置を
- 5 提供することを目的とする。

発明の開示

- 本発明のプラズマ装置は、内部が減圧可能であり、その一部がマイクロ波を略々損失なく透過できる材料からなる第1の誘電体板により構成されている容器
- 10 と、

該容器内でプラズマを励起させるために必要な原料ガスを供給するガス供給システムと、

該容器内に供給された原料ガスを排気すると共に該容器内が減圧するための排気システムと、

- 15 該第1の誘電体板の外面に面して配置された、スロット板及び導波誘電体からなるマイクロ波を放射するためのアンテナと、

該容器の内側に配置された被処理体を保持するための電極と、
を有し、

- 該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを
- 20 略々平行に対向して配置して該被処理体に対してプラズマ処理をするプラズマ装置において、

前記第1の誘電体板以外の前記容器の壁部は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質からなる部材であるかもしくは該壁部の内側が該部材で被覆されており、

- 25 かつ、

該部材の厚さを d 、該部材の導電率を σ 、真空の透磁率を μ_0 、該アンテナから放出するマイクロ波の角周波数を ω とした場合、

前記 d は、 $(2/\mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$ より大きいことを特徴とする。

本発明のプラズマ処理法は、内部が減圧可能であり、その一部がマイクロ波を

略々損失なく透過できる材料からなる第1の誘電体板により構成されている容器と、該容器内でプラズマを励起させるために必要な原料ガスを供給するガス供給システムと、該容器内に供給された原料ガスを排気すると共に該容器内を減圧するための排気システムと、該第1の誘電体板の外面に面して配置された、スロット板及び導波誘電体からなるマイクロ波を放射するためのアンテナと、該容器の
5 内側に配置された被処理体を保持するための電極と、を有し、該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを略々平行に対向して配置して該被処理体に対してプラズマ処理をするプラズマ装置を用いたプラズマ処理方法において、投入するマイクロ波のパワー密度を 1.2 W/cm^2 以上とすることを特徴とする。かかる条件によりでプラズマを安定的に発生させることができる。

本発明のプラズマ装置は、真空容器内に電極Iを備え、プラズマを用いて処理が行われる基体を前記電極Iと接するように載置しており、前記プラズマ中に磁場を印加する目的で前記真空容器外に磁場の印加手段I及びIIを備え、前記真
15 空容器内に導入された気体の少なくとも一部が前記磁場の印加手段IとIIに挟まれた空間を通過して排気することを特徴とする。

本発明のプラズマ装置は、真空容器内に平行平板型の2つの電極I及びIIを備え、プラズマを用いて処理が行われる基体を前記電極IまたはIIと接するように載置しており、前記プラズマ中に磁場を印加する手段を有しており、前記電
20 極IIは中央部と、前記電極Iに接続された高周波電源とは独立して制御できる高周波電源に接続された外周部とから構成されていることを特徴とする。

本発明のプラズマ装置は、基板上方の成膜空間の側方に、真空ポンプの吸引口に直結して形成された排気空間を設けたことを特徴とする。

本発明のプラズマ装置は、内部が減圧可能であり、その一部がマイクロ波を
25 略々損失なく透過できる材料からなる第1の誘電体板により構成されている容器と、

該容器内でプラズマを励起させるために必要な原料ガスを供給するガス供給システムと、

該容器内に供給された原料ガスを排気すると共に該容器内を減圧するための排気システムと、

該第1の誘電体板の外面に面して配置された、スロット板及び導波誘電体からなるマイクロ波を放射するためのアンテナと、

- 5 該容器の内側に配置された被処理体を保持するための電極と、
を有し、

該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを略々平行に対向して配置して該被処理体に対してプラズマ処理をするプラズマ装置において、

- 10 基板上方の成膜空間の側方に、真空ポンプの吸引口に直結して形成された排気空間を設けたことを特徴とする。

図面の簡単な説明

図1は、実施例1に係る装置の断面図である。

- 15 図2は、図1の装置に用いるラジアル・ライン・スロット・アンテナの一例を示す平面図である。

図3は、実施例1に係るプラズマ着火実験の結果であり、マイクロ波パワー及びチャンバ材質の依存性を示す。

- 20 図4は、実施例1に係るプラズマ着火実験の結果であり、めっき層の厚さ及びマイクロ波周波数の依存性を示す。

図5は、実施例1に係る装置の断面図であり、チャンバの内表面にめっき層を設けた場合を示す。

図6は、実施例1に係る装置の断面図であり、チャンバの内表面を所定の材質からなる板材で覆った場合を示す。

- 25 図7は、実施例2に係る装置の断面図である。

図8は、図7における領域Aの拡大図であり、第1の誘電体板が第1のOリングと接触して真空シールする領域に金属薄膜114を設けた場合を示す。

図9は、図7における領域Aの拡大図であり、第1のOリング自体を金属薄膜115で被覆した場合を示す。

- 図 1 0 は、実施例 3 に係る装置の断面図である。
- 図 1 1 は、実施例 3 に係る飽和イオン電流密度を示すグラフである。
- 図 1 2 は、実施例 4 に係る装置の断面図である。
- 図 1 3 は、図 1 2 の領域 B の拡大図である。
- 5 図 1 4 は、実施例 5 に係る飽和イオン電流密度を示すグラフである。
- 図 1 5 は、実施例 7 に係る装置の断面図である。
- 図 1 6 は、実施例 7 においてプラズマ励起の有無を確認するために用いた治具の概略図である。
- 図 1 7 は、実施例 7 に係るプローブ電圧とプローブ電流との関係を示すグラフ
- 10 である。
- 図 1 8 は、実施例 7 に係る最小放電パワーと Ar 圧との関係を示すグラフである。
- 図 1 9 は、実施例 8 に係る装置の部分断面図であり、遮蔽板を用いた場合を示す。
- 15 図 2 0 は、実施例 8 に係る装置の部分平面図であり、スロットを小型化した場合を示す。
- 図 2 1 は、実施例 8 に係る飽和イオン電流密度を示すグラフである。
- 図 2 2 は、実施例 9 に係る装置の部分断面図である。
- 図 2 3 は、実施例 1 0 に係る装置の部分断面図である。
- 20 図 2 4 は、実施例 1 1 に係る装置の断面図である。
- 図 2 5 は、実施例 1 2 に係る装置の断面図である。
- 図 2 6 は、実施例 1 2 に係る重合膜の堆積速度とチャンバの内壁温度との関係を示すグラフである。
- 図 2 7 は、実施例 1 3 に係る装置の断面図である。
- 25 図 2 8 は、実施例 1 4 に係るフロロカーボン系ガスの回収・再利用にステージドクーラー方式を採用したときのシステムを示す概略図である。
- 図 2 9 は、実施例 1 5 に係るフッ素系ガスの平均結合エネルギーとそのプラズマパラメタとの関係を示すグラフである。
- 図 3 0 は、実施例 1 5 に係る $\text{AlF}_3/\text{MgF}_2$ 合金のプラズマ照射によるダ

メージ評価結果を示すグラフであり、(a)は NF_3 プラズマ照射前、(b)は NF_3 プラズマ2時間照射後を示す。

図31は、実施例16に係る飽和イオン電流密度の分布を示すグラフである。

図32は、実施例16に係る電子温度の分布を示すグラフである。

5 図33は、実施例16に係る電子密度の分布を示すグラフである。

図34は、実施例16に係るイオン電流分布を測定するシステムの概略図である。

図35は、実施例16に係る電子温度および電子密度の測定に用いたシングルプローブの構造を示す模式図である。

10 図36は、実施例17におけるプラズマエッチングの結果を示すグラフである。

図37は、実施例18に係る素子の断面図と、素子の絶縁耐圧の測定系とを合わせて示した模式図である。

図38は、実施例18における絶縁耐圧の結果を示すグラフである。

15 図37は、実施例28に係るシリコン窒化膜に対して、X線光電子分光装置を用いてSi表面の化学的結合状態を分析した結果を示すグラフである。

図40は、実施例28に係る素子の断面図と、素子の絶縁破壊注入電荷量の測定系とを合わせて示した模式図である。

20 図41は、実施例28における絶縁破壊注入電荷量の結果を示すグラフである。

図42は、実施例29におけるX線ディフラクトメータの結果を示すグラフである。

図43は、従来のマグネトロンプラズマエッチング装置の概略図である。

図44は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す模式図である。

25 図45は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。

図46は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。

図47は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。

図48は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。

図49は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。

- 図50は、本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す平面図である。
- 図51は、本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す平面図である。
- 図52は、本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す平面図である。
- 図53は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。
- 5 図54は、本発明に係るプラズマ装置の一例を示す平面図である。
- 図55は、電極11に高周波を印加する手段の一例を示す図である。
- 図56は、電極11に高周波を印加する手段の一例を示す図である。
- 図57は、本実施例と従来例との排気量を比較したグラフである。
- 図58は、本実施例のパターン製作のフローを示す図である。
- 10 図59は、本実施例と従来例との比抵抗を比較したグラフである。
- 図60は、本実施例の素子の断面図と絶縁耐圧の測定系とをあわせて示した模式図。
- 図61は、本実施例及び従来例の絶縁耐圧の測定結果を示すグラフである。
- 図62は、従来のプラズマ装置の平面図である。
- 15 図63は、Si酸化膜のウェハ面内の膜厚分布を示すグラフである。
- 図64は、本実施例の素子の断面図と絶縁破壊注入電荷量の測定系とをあわせて示した模式図である。
- 図65は、絶縁破壊注入電荷量の測定結果を示すグラフである。
- 図66は、直接窒化膜のウェハ面内の膜厚分布を示すグラフである。
- 20 図67は、直接窒化膜のバリア性の測定系結果を示すグラフである。
- 図68は、酸素及び炭素の量とプロセスガスの総流量との関係を示したグラフである。
- 図69は、X線リソグラフィ用マスクの構成の一例を示す図である。
- 図70は、ダイヤモンド薄膜の透過率測定系を示す模式図である。
- 25 図71は、ダイヤモンド薄膜の評価結果を示すグラフである。
- 図72は、多結晶シリコン薄膜の表面荒さの総流量依存性を示すグラフである。
- 図73は、多結晶シリコン薄膜のガラス基板面内均一性のトータルガス流量依存性を示すグラフである。

図74は、多結晶シリコンの結晶子サイズのトータルガス流量依存性を示すグラフである。

図75は、多結晶シリコン膜の膜中水素量のトータルガス流量依存性を示すグラフである。

- 5 図76は、多結晶シリコン（Pドーパ）の比抵抗のトータルガス流量依存性を示すグラフである。

図77は、SiNx膜の面内均一性のトータルガス流量依存性を示すグラフである。

- 10 図78は、SiNx膜の絶縁耐圧のトータルガス流量依存性を示すグラフである。

図79は、Si_xN_y膜のSiとNの原子組成比に対するトータルガス流量依存性を示すグラフである。

図80は、フロロカーボン膜デポジションレートのトータルガス流量依存性を示すグラフである。

- 15 図81は、フロロカーボン膜デポジションレートのトータルガス流量依存性を示すグラフである。

図82は、BST膜デポジションレートの添加ガス流量依存性を示すグラフである。

- 20 図83は、BST膜デポジションレートのウエハ面内均一性の添加ガス流量依存性を示すグラフである。

図84は、本発明を用いて製作したデバイスの断面図を示す。

図85は、絶縁膜形成及びタンタルシリサイド形成の工程のクラスタツールを示す図である。

- 25 図86は、タンタルオキサイドゲート絶縁膜MOSFETのサブスレッショルド係数の分散を示す図である。

図87は、従来及び本発明のサンプルの初期破壊率を示すグラフである。

図88は、タンタルオキサイドキャパシタの容量の面内均一性を示す図である。

図89は、ターボ分子ポンプの排気特性を示すグラフである。

図90は、本発明のプラズマ装置の適用例を示す平面図である。

図91は、本発明のプラズマ装置の適用例を示す平面図である。

図92は、本発明のプラズマ装置の適用例を示す平面図である。

図93は、図90におけるウェハ搬送チャンバ内のウェハ搬送ロボットの配置

5 図である。

図94は、図90におけるウェハ搬送チャンバ内のウェハ搬送ロボットの配置図である。

図95は、図90におけるウェハ搬送チャンバ内のウェハ搬送ロボットの配置図である。

10 (符号の説明)

100・・・容器、101・・・チャンバ、102・・・第1の誘電体板、
103・・・導波誘電体板、104・・・被処理体、105・・・プラズ
マ、106・・・アンテナスロット板、107・・・同軸管、108・・・
アンテナガイド、109・・・電極、110, 110', 110",
15 111・・・スロット、112・・・めっき層、113・・・板材、
114, 115・・・金属薄膜、116・・・第2の誘電体板、
117・・・ガス導入口、118・・・スロット板の湾曲を防止する手段8
119・・・遮蔽板、120・・・アンテナを所定の温度に保つ手段6、
121・・・第1の誘電体板を所定の温度に保つ手段7、122・・・空間2
20 に発生したプラズマの有無を検知する手段9、123・・・光を透す材料か
らなる窓、124・・・光の導入口、125・・・Xeランプ、
201・・・ラジアル・ライン・スロット・アンテナ、202・・・第1のO
リング、205・・・空間3、206・・・空間4、207・・・空間
5、208・・・空間1、209・・・空間2、214・・・金属薄
25 膜、216・・・第2のOリング、301・・・上部ガラス板、
302・・・下部ガラス板、303・・・中間ガラス板、304・・・空間
6、305・・・タングステンワイヤ、306・・・セラミックで被覆され
たアルミニウムワイヤ、401・・・円盤状電極、402・・・ピン、
403・・・アルミニウム線、404・・・抵抗、405・・・オペアン

プ、 406・・・A-Dコンバータ、 407・・・コンピュータ、
408・・・ステッピングモータ、 409・・・電源、 501・・・チャン
バ、 502・・・プラズマ、 503・・・被処理体、 504・・・電極、
505・・・ヒータ、 506・・・レーザ、 507・・・フォトディテク
5 ター、 601・・・プローブチップ、 602・・・銀ワイヤ、 603・・・
セラミックチューブ、 604・・・SUSチューブ、 605・・・リングシー
ル、 606・・・ローブ測定システム、 701・・・被処理体、 702・・・フィ
ールド酸化膜、 703・・・ゲート酸化膜、 704・・・ゲート電極、 705・・・探
針、 706・・・電圧計、 707・・・電圧印加手段、 801・・・被処理体、
10 802・・・フィールド酸化膜、 803・・・ゲート窒化膜、 804・・・ゲート電
極、 805・・・探針、 806・・・電圧計、 807・・・定電流源、 808・・・電流
計、 4301・・・真空容器、 4302・・・電極I、 4303・・・基体、
4304・・・ガス導入口、 4305・・・シャワープレート、 4306・・・ダイ
ポールリングマグネット、 4307・・・ベローズ、 4308・・・多孔板、
15 4309・・・ゲートバルブ、 4310・・・基体搬送口、 4311・・・ガス排気
口、 4312・・・真空ポンプ、 4313・・・整合回路、 4314
・・・高周波電源、 4406・・・真空容器、 4407・・・電極I、 4408・・・基
体、 4409・・・フォーカスリング、 4410・・・シャワープレート、
4411・・・電極II、 4412・・・ガス導入口、 4413・・・磁場の印加手
20 段、 4414・・・真空ポンプ、 4415・・・整合回路I、 4416・・・高周波電
源I、 4417・・・整合回路II、 4418・・・高周波電源II、 4501・・・
真空容器、 4502・・・ガス導入口、 4503・・・磁場の印加手段、
4504・・・ガス排気口、 ・・・4505・・・ゲートバルブ、 4601・・・真空容
器、 4602・・・ガス導入口、 4603・・・磁場の印加手段、 4604・・・ガス
25 排気口、 4605・・・ゲートバルブ、 4701・・・真空容器、 4702・・・ガス
導入口、 4703・・・磁場の印加手段、 4704・・・ガス排気口、 4705・・・
真空ポンプ、 4706・・・ゲートバルブ、 4801・・・真空容器、 4802・・・
真空ポンプ、 4901・・・真空容器、 4902・・・真空ポンプ、 5001・・・真
空容器、 5002， 5003・・・磁場を容器内に印加する手段、 5004・・・電

極 I、5005・・・電極 I I、5006、5007・・・原料ガス、反応生成ガスを排気するための手段、5004・・・電極 I、5005・・・電極 I I、5006、5007・・・原料ガス、反応生成ガスを排気するための手段、5108・・・高周波を印加する手段、5204・・・電極 I、5206、5207・・・原料ガス、反応生成ガスを排気するための手段、5301・・・真空容器、5302・・・原料ガスの導入口、5303・・・真空ポンプ、5304・・・誘電体板 I、5305・・・アンテナ、5306・・・電極 I、5307・・・シャワープレート、5308・・・基体、5309・・・反射板、5301・・・真空容器、5302・・・電極 I、5303・・・電極 I I、5404・・・ターゲット、5405・・・基体、5406・・・整合回路 I、5408・・・高周波電源 I、5412・・・整合回路 I I、5413・・・高周波電源 I I、5414・・・磁場を印加する手段、5410・・・補助電極 A、5411・・・補助電極 B、5414a・・・磁場の印加手段、5415・・・真空ポンプ、5501・・・電極 I I a、5502・・・電極 I I b、5503・・・ターゲット、5504・・・高周波電源 I、5505・・・整合回路 I、5506・・・高周波電源 I I、5507・・・整合回路、5508・・・位相調節回路、5601・・・電極 I I a、5602・・・電極 I I b、5603・・・ターゲット、5605・・・整合回路。

発明を実施するための最良の形態

(1) 本発明のプラズマ装置において、マイクロ波を放射するアンテナが第1の誘電体板を挟んで容器の外側に設置されており、第1の誘電体板はマイクロ波を略々損失なく透過できる材料からなるため、容器の外部からマイクロ波を放射することで、容器内部に該プラズマを励起することができるようになっており、アンテナが原料ガス及び反応副生成物ガスに直接曝されることがない。また、容器の内側には被処理体を保持する電極を設け、アンテナのマイクロ波の放射面と被処理体のプラズマ処理を行う面とを略々平行に対向して配置したため、その間隔を狭めることが容易であり、原料ガス及び反応副生成物ガスの流速を上げ、速やかに前記反応副生成物ガスを除去することができる。さらに、第1の誘電体板以外の容器の壁部は、少なくともアルミニウム以上の導電率を有する材質からなる

部材であるかもしくは該壁部の内側が該部材で被覆されているおり、かつ、該部材の厚さを d 、該部材の導電率を σ 、真空の透磁率を μ_0 、該アンテナから放出するマイクロ波の角周波数を ω とした場合、前記 d を、マイクロ波の $(2/\mu_0\sigma\omega)^{1/2}$ から決まる表皮深さ（侵入長）より大きくしたため、前記容器内に導入されたマイクロ波を略々損失なく、伝搬させることができる。その結果、プラズマを低出力で励起できると共に、安定したプラズマ励起が可能となる。

前記第1の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第1のOリングが配置され、該第1の誘電体板の少なくとも該Oリングと接する面に、該第1のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段1として導電性材料からなる部材を設けたことにより、リークを防止し、かつ、該第1のOリングの長寿命化および該マイクロ波の損失低減を図ることができる。マイクロ波を用いるプラズマ装置においては、リークが発生しやすかった。本発明者は、マイクロ波を用いる場合にリークが発生しやすい原因を鋭意探求したところ、その原因はOリングにあることを見いだした。

すなわち、Oリングはマイクロ波のエネルギーを吸収し、その結果、Oリングは過熱状態となる。また、表面が溶融してしまうこともある。Oリングが過熱状態になったり、表面が溶融するとリークが生じる。以上がマイクロ波を使用した場合にリークが起こりやすい原因であり、かかる原因は本発明者が初めて見いだしたものである。なお、マイクロ波を使用した場合に、Oリングがこのような高温にさらされることは予想外のことである。第1の誘電体板の少なくとも第1のOリングと接する面に導電性材料（例えば金属材料）からなる薄膜を設けることによりOリングが過熱状態になったり、表面が溶融することを防止することができる。この導電性材料からなる薄膜は、第1の誘電体板に膜を貼着して設けてもよいし、第1の誘電体板に、塗布、蒸着その他の方法でコートすることにより設けてもよい。導電性材料としては、例えばチタンを用いればよい。

また、Oリングの表面に導電性材料からなる薄膜を設けてもよい。この場合にもチタンコートを行えばよい。また、下地となるOリング自体に誘電損失の少ないものを用いればよい。例えばバイトン（商品名）を用いればよい。

この薄膜としては、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材料によ

り形成することが好ましい。また、薄膜の厚さは $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上が好ましい。かかる、導電率、厚さを有している薄膜を設けることにより、より一層リークが少なく、Oリングの寿命に優れ、また、マイクロ波の損失の少ないプラズマ装置を得ることができる。

- 5 前記第1の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第1のOリングが配置され、該第1のOリングの表面には、該第1のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段2を設けたことにより、リーク量低減、該第1のOリングの長寿命化および該マイクロ波の損失低減を図ることができる。

- 10 前記第1の誘電体板と前記被処理体を保持する電極との間に、所望のガスを略々均一に供給するためのガス導入口を備えた第2の誘電体板を設けることにより、均一に前記原料ガスを前記容器内に供給でき、かつ前記反応副生成物ガスを均一に除去できる。

- また、この第2の誘電体板は、真空と大気とを隔てる。従ってアンテナを真空
15 中に入れなくとすむ。アンテナを真空中に入れるとアンテナは腐食してしまい、また、冷却が困難となる。

- 前記第2の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第2のOリングが配置され、該第2の誘電体板の内面又は／及び外面には、該第2のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないよう
20 な手段3を設けたことにより、リークの防止、該第2のOリングの長寿命化および該マイクロ波の損失低減を図ることができる。

- 前記第2の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第2のOリングが配置され、該第2のOリングの表面には、該第2のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段4を設け
25 たことにより、リークの防止、該第2のOリングの長寿命化および該マイクロ波の損失低減を図ることができる。

前記第1の誘電体板または前記第2の誘電体板の材質として、誘電損角 $\tan\delta$ が 10^{-3} 以下の材質を選定することで、前記容器外に設置された前記アンテナから放射されるマイクロ波を略々損失なく透過させることが可能となり、前記マイ

クロ波の損失低減を図ることができる。

前記アンテナに給電するマイクロ波の周波数が5.0 GHz以上であり、かつ、前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1の距離を0.7 mm以下とすると、空間1においてプラズマが励起せず、放電による反応副生成物の発生がない。従って、反応副生成物が原料ガスの供給を妨げるという現象の回避が可能となる。また、反応副生成物による、被処理体上への薄膜形成、被処理体の酸化及び窒化、被処理体のエッチングなどのプロセスへの影響も防止できる。

- 前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1における圧力1が、
- 10 前記被処理体を保持する電極が配置され、前記第2の誘電体板と前記第2の誘電体板以外の前記容器の壁部で囲まれた空間2における圧力2より高くなるように差圧を発生させる手段5を設けることにより、空間1においてプラズマが励起せず、放電による反応副生成物の発生がない。なお、差圧を設けたためには、原料ガスの圧力、容器内の真空度を変えれば容易に差圧を設けることができる。
- 15 前記空間2で発生させたプラズマの密度が局所的に高い部分に位置する該スロットを、他より小さい径とする、遮蔽する、あるいは設置しないことにより、マイクロ波の放射面として機能するスロット板において、部分的にマイクロ波の出力低減を図り、プラズマの密度をより均一化できる。なお、プラズマ密度が局所的に高くなる位置は、装置の条件などによりかわるため、例えば、最初にスロット径を同じとして実験を行い、この実験によりプラズマ密度が局所的に高い部分を見いだせばよい。

- 本発明では、アンテナと第1の誘電体板との間に空間を形成する。マイクロ波を用いる従来のプラズマ装置（例えば、特開平8-111297号公報）では、アンテナと第1の誘電体板とは密着している。アンテナは通常、厚さが0.3 mm程度であり、銅板により構成されている。しかるに、本発明者の実験によれば、マイクロ波を使用した場合、アンテナは150℃程度の高温になり、アンテナは熱のため膨張するとともに、厚さが薄いために局部的にたわんでしまう。その結果、アンテナからのマイクロ波の放射特性が変わり、プラズマが不均一になってしまう。
- 25

本発明では、アンテナと第1の誘電体板とを密着させず、両者の間に空間を形成しているため、その空間に、アンテナと接触させて弾性体からなるスペーサーを介在させることができ、熱による膨張があってもアンテナには局部的なたわみは発生せず、均一なプラズマを得ることができる。なお、弾性体からなるスペーサーとしては、絶縁体が好ましく、例えばシリコンゴム、テフロン（商品名）などが用いられる。

また、この空間に熱媒体を供給する手段を連通させれば、空間に熱媒体を供給することができ、アンテナを冷却することができる。アンテナを冷却することにより、スペーサーを用いずともアンテナの熱膨張によるたわみを防止することが可能となる。もちろん、スペーサーを用いるとともにアンテナの冷却を行ってもよい。

アンテナと第1の誘電体板とにより形成される空間に熱媒体を供給することは、該アンテナを冷却するための手段6の一態様であるが、それ以外の手段6として、アンテナガイドに通路を形成し、この通路に熱媒体を供給するためのラインを連通させてもよい。

前記第1の誘電体板近傍に、該第1の誘電体板を冷却するための手段7を設けることにより、供給する原料ガスを所定の温度に保持しながら前記被処理体表面上に供給できる。また手段7により、前記スロット板の湾曲を防止し、マイクロ波を略々損失なく前記容器内に放射することができ、安定したプラズマを励起させることができる。

前記スロット板の湾曲を防止する手段8を備えたことにより、効率よく平行ビーム状のマイクロ波を容器内に放射することができるため、安定したプラズマを励起させることができる。

前記空間2に発生したプラズマの有無を検知する手段9を備えたことにより、アンテナから放射されるマイクロ波によって容器内部及び被処理体などが不用意に加熱され、破損するのを防ぐことができる。

前記容器内部において容器壁面および前記被処理体以外の部分の温度をそれぞれ150℃以上まで上昇させるための機構を備えているため、プロセスを阻害する放出ガスを減らし、反応副生成物の再付着を防止することができる。

排気システムに、排気システムを構成するユニット内の温度を150℃以上まで上昇させるための機構（例えばヒーター）を設けておけば、この機構により該排気システム内の温度を上昇させてユニット内壁への反応副生成物の付着を防止することができる。

- 5 被処理体を加熱する機構を設けておけば、被処理体の温度を上昇させることで、プラズマのイオン照射で足りないエネルギーを補うことができる。

排気システムの下流にフロロカーボン系ガスの回収・再利用を行う機構を設けたおけば、ステージドクーラー方式という方法を採用して高沸点のガスから段階的に冷やし、液化・蒸留精製し液体として再利用を行うことができる。

- 10 イオン・ラジカル密度が高く、プラズマ電位が低いプラズマを容器内部で発生させることにより、容器内部をクリーニングすることができる。その際容器内部は非常に優れたプラズマ耐性を示す（ AlF_3/MgF_2 ）合金でできていることが望ましい。

- 前記被処理体の保持機能を有する電極が、直流バイアス又は／及び交流バイアスの印加手段を備えたことにより、被処理体に照射するイオンエネルギーを増加させることができる。例えば、プラズマエッチングに適応することで、均一性の良い高速なエッチングが実現できる。

- 本発明のプラズマ装置により、大面積の被処理体の表面を均一に、エッチング処理、直接酸化処理、直接窒化処理ができ、また、低温かつ高速で均一に成膜できる。

（2）図44は、本発明に係わるプラズマ装置の一例を示す模式図である。図44（a）は装置を上部から見た平面図であり、図44（b）は、図44（a）のA-A間断面図である。

- 図44において、4406は真空容器、4407は電極I、4408は基体、4409はフォーカスリング、4410はシャワープレート、4411は電極II、4412はガス導入口、4413は磁場の印加手段、4414は真空ポンプ、4415は整合回路I、4416は高周波電源I、4417は整合回路II、4418は高周波電源IIである。

図44のプラズマ装置では、磁場の印加手段4413として、図に示すような

複数の永久磁石を環状に並べたダイポールリングマグネットが用いられている。ダイポールリングマグネットを構成する永久磁石は、永久磁石の位置が半周する間に磁化方向が一回転するような向きで並べられている。

ガス導入口4412から導入されたガスは、シャワープレート4410の多数の
5 小孔からプロセス空間に放出される。この導入ガス、及び基体表面から放出された反応生成ガスは、基体側部の磁場の印加手段4413a及び4413bに挟まれた空間を通り、複数の真空ポンプ4414から外部へ排気される。真空ポンプ4414の上部には、ガスのコンダクタンスを低下させないよう比較的広い空間が設けてある。真空容器4406の上部からの投影面を図44(a)に示す。真空容器4401は正方形に近い形状をしており、その角部に4台の真空ポンプ
10 4402が設置されている。このように、基体周辺に基体の中央を通り基体面と垂直な軸に対して略々軸対称に並べられた複数の真空ポンプから排気すると、ガスのコンダクタンスをほとんど低下させることなく基体上の回転方向に均一なガス流を実現することができる。すなわち、真空ポンプの許容値近くまで多量のガスを流すことができるようになり、大口径基体の超高速プロセスに対応できる。

電極II4411は、ここではリング状の金属板であり、基体4408表面付近のプラズマの面内均一性を向上させるために設けられたものである。高周波電源II4418から出力された高周波電力は、整合回路II4417を通して電極II4411に印加される。電極II4411に適切な高周波電力を印加する
20 ことによって磁場印加によって生じる電極II4411面上の電子のドリフトと基体4408面上の電子のドリフトのバランスをとると、基体4408表面付近のプラズマはほぼ完全に均一化される。なお、電極II4411に高周波を印加しなくても基体4408表面付近のプラズマの面内均一性が良好な場合や、不均一でも問題が生じない場合には特に電極II4411を設ける必要はない。

25 図43のプラズマ装置では、シャワープレート405は接地されているが、必ずしも接地されている必要はないし、高周波を印加してもかまわない。また、シャワープレートを用いずに、他の部分からガスを放出してもかまわない。

図45は、本発明に係わるプラズマ装置の一例を示す平面図である。4501は真空容器、4502はガス導入口、4503は磁場の印加手段、4504はガ

ス排気口、45005はゲートバルブである。真空容器4501の上部からの投影面は正三角形に近い形状をしており、その角部に3台の真空ポンプが設置されている。その他は図44の説明と同様である。図45のプラズマ装置では、ゲートバルブ4505と基体間の距離が図44に示したプラズマ装置よりも短縮される。基体搬送アームのストロークに制限がある場合には好適である。

図46は、本発明に係わるプラズマ装置の一例を示す平面図である。4601は真空容器、4602はガス導入口、4603は磁場の印加手段、4604はガス排気口、4605はゲートバルブである。真空容器4601には2台の真空ポンプが設置されている。その他は図44の説明と同様である。図46のプラズマ装置では、図45の装置と同様にゲートバルブ4605と基体間の距離が図44に示したプラズマ装置よりも短縮される。基体搬送アームのストロークに制限がある場合、及び真空ポンプの排気能力に余裕がある場合には好適である。

図47は、本発明に係わるプラズマ装置の一例を示す平面図である。4701は真空容器、4702はガス導入口、4703は磁場の印加手段、4704はガス排気口、4705は真空ポンプ、4706はゲートバルブである。真空容器4701には2台の真空ポンプが横向きに設置されている。その他は図44の説明と同様である。真空容器4701と真空ポンプ4705を含めたプラズマ装置の占有床面積は大きくなるが、真空容器4701の大きさは最小となる。基体搬送アームのストロークに制限がある場合、及び真空容器の大きさに制限がある場合には好適である。

図48のプラズマ装置では、真空容器4801の下部、上部にそれぞれ4台ずつ、計8台の真空ポンプ4802が設けられている。このように、真空ポンプの台数を増やすと1台あたりの負担が減少して真空ポンプがより小型化されるために、プラズマ装置の床占有面積をより小さくすることが可能となる。他の部分は図44の説明と同様である。

図49のプラズマ装置は、真空容器4901上部の角部を丸くしたものである。真空ポンプ4902上の真空容器4901内の空間のうち、ガス流速が遅い不要な部分が減少するため、真空容器4901内の雰囲気により清浄化される。

図50は本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す平面図である。真空容器

5001の外部に、磁場を容器内に印加する手段として5002、5003を設けてある。5002、5003が上下に分けられているために処理される基体が載置される電極I5004を上下に動かすことなく前記基体の搬送が可能となる。平行平板型の電極I及び電極IIを備え、電極II5005は電氣的に接地
5 されており、かつ原料ガスを導入する手段であるシャワープレートを有している。5006、5007は原料ガス、反応生成ガスを排気するための手段であり、磁場の印加手段5002及び5003に挟まれた空間を通して外部へ排気する構造となっている。

図51は本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す平面図である。平行平板
10 型の電極I5104及び電極II5105を備え、電極IIは電極Iとは独立した高周波を印加する手段5108が接続されており、かつ原料ガスを導入する手段であるシャワープレートを有している。5106、5107は原料ガス、反応生成ガスを外部へ排気するための手段である。

図52は本発明に係るプラズマ処理装置の一例を示す平面図である。電極
15 I5204を備え、原料ガスを導入する手段であるシャワープレートを有している。5206、5207は原料ガス、反応生成ガスを排気するための手段であり、ここからガスを外部へ排気する構造となっている。

図53のプラズマ装置は、真空容器5301と前記容器内でプラズマを生成させるために必要な原料ガスの導入口5302、前記容器内に導入された原料ガ
20 スを排気する真空ポンプ5303を有し、前記容器を構成する壁部の一部はマイクロ波を略略損失なく透過できる材料からなる誘電体板I5304であり、その誘電体板Iをはさんで前記容器の外側にはマイクロ波を放射するアンテナ5305と、前記容器の内側に処理される基体5308が載置される電極I5306とを設け、前記アンテナのマイクロ波の放射面と基体のプラズマ処理
25 を行う面とを略々平行に対向して配置されている。ここで放射されたマイクロ波を排気口側へ伝搬するのを防ぎ、前記基体上だけに均一にプラズマを生成させる目的で反射板5309を設けてもよい。

また、前記基体が載置される電極Iは接地させることも可能であり、もしくは直流バイアスまたは交流バイアスの印加も可能となる手段も設けている。また、

- 原料ガスの導入の均一化および反応生成ガスの高速除去のため、本装置の原料ガスは、シャワープレート5307を通して多数の小孔からプロセス空間に導入される。この原料ガス及び反応生成ガスは複数の真空ポンプ5303より外部へ排気される。各真空ポンプの上部には、ガスのコンダクタンスを低下させないように比較的広い空間が設けてある。このように前記基体側部に略々等間隔に並べられた複数の真空ポンプから排気すると、ガスのコンダクタンスをほとんど低下させることなく回転方向に均一な基体上のガス流を実現することができる。すなわち、真空ポンプの許容値近くまで多量のガスを流すことができるようになり、大口径基体の超高速プロセスに対応することが可能となる。
- 10 図54のプラズマ装置は真空容器5401の中に、平行平板型の2つの電極I5402と電極II5403を備え、前記電極IIの上にはターゲット5404と、前記電極Iの上には膜を堆積させる基体5405とが、載置しており、前記容器中に原料ガスを導入し、前記電極I、前記電極IIに高周波を印加する目的で整合回路I5406、整合回路II5412、高周波電源
- 15 I5408、高周波電源II5413が接続されている。少なくともターゲット表面に対して磁場を印加する手段5414が、前記容器外に設けてあり、ターゲットの外周端より外側の領域に、ターゲット表面付近に生成するプラズマの密度の均一化を図る目的で前記電極IIと電気的接合する部分に設けた接合インピーダンスを調整する手段を付設した補助電極A5410を設け、ターゲットの外周
- 20 端より外側の領域で、前記基体及び前記電極IIとは離間した位置に、これもまたターゲット表面付近に生成するプラズマの密度の均一化を図る目的で電極I、IIに印加される高周波とは別に独立した高周波電力が印加される補助電極B5411を設けているが補助電極Bを設ける代わりの方法として、プラズマ生成時の前記容器内の圧力を高圧(1Torr～数十Torr)にすることで磁場によるプラズマの偏りが緩和される方法をとってもよい。また補助電極A、もしくは補助
- 25 電極Bを設けなくても基体表面付近のプラズマの面内均一性が良好な場合や、不均一でも問題が生じない場合には特に補助電極A、Bを設ける必要はない。前記容器内に導入されたガスは、基体側部の磁場の印加手段5414a及び5414bに挟まれた空間を通り、複数の真空ポンプ5415から外部へ排気さ

れる。真空ポンプの上部には、ガスのコンダクタンスを低下させないよう比較的広い空間が設けてある。また、真空ポンプの配置として前記図45～49に示す様に配置しても構わない。また、磁場の印加手段として他の磁場印加手段でも構わない。また、ここでは磁場を用いてプラズマ密度を上げているが、他の手段
5 でも構わず、プラズマ密度を上げる必要がないときは用いなくとも良い。

また、ターゲットを保持する電極である前記電極IIは、電極IIが二等分に分割され、分割された電極それぞれに高周波を印加してもよい。但し、この時両者の高周波の位相は 180° 反転していることが特徴であり、電極IIaと電極IIbの間で放電が起こらないような手段を付設することも必要である。しかし
10 この方法は、ターゲットが絶縁物の時に限るものであり、ターゲットが導電性の場合、基体自体を電極IIにあわせて分割する必要がある。この上記方法を用いることにより、プラズマポテンシャル（プラズマ電位）の振幅を低くおさえることが可能となる為、前記ターゲットへのイオン衝突エネルギーを低減でき、より良質な膜が形成できることが確認されている。前記電極IIに印加する手段と
15 して以下の二通りの方法が挙げられるがどちらを用いても構わない。

(a) 図55に第1の方法を示す。分割された電極IIa5501、電極IIb5502、ターゲット5503、電極IIa、電極IIbにそれぞれ高周波を印加するための高周波電源I5504、整合回路I5505、高周波電源II5506、整合回路II5507を接続し、電極IIb側に位相調節回路
20 5508を接続することにより、両者の高周波の位相を反転させ導入する。

(b) 図56に第2の方法を示す。5501は分割された電極IIa、5502は電極IIb、5503はターゲットを示しており、高周波電源5504から発振された高周波は、整合回路5505を伝播し、平衡非平衡回路（ balan ）を介して接地される。この回路により互いに位相の 180° 反転した
25 高周波を導入できる。

(3) 図53を例にとると、本発明のプラズマ装置は、基板5308の上方の成膜空間5313の側方に、真空ポンプ5303の吸引口5314に直結して形成された排気空間5315を設けてある。

成膜空間5313の側方に、比較的広い空間である排気空間5315を設ける

ことにより、外部から導入された原料ガス、あるいは、反応生成ガスは、ガスのコンダクタンスを低下させることなく排気され、また、真空ポンプの許容値値近くまで多量のガスを流すことができる。

この排気空間 5 3 1 5 は複数個設けることが好ましく、その場合基板 5 3 0 8
5 の略々中心に関して対称の位置に配置することが好ましい。排気空間 5 3 1 5 を複数個対称的に配置した場合かかる上記効果はより一層顕著である。

排気空間 5 3 1 5 の高さ b は大きければ大きいほど好ましい。

排気空間 5 3 1 5 の幅 L は、成膜空間 5 3 1 3 の高さ a の 2 倍以上が好ましい。幅 L を高さ a の 2 場合の点からガス流の均一性は急激に向上する。

10

実施例

以下、図面を参照して本発明のプラズマ装置を説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものでないことはいうまでもない。

(実施例 1)

15 本例では、図 1 に示すプラズマ装置を用い、容器内にマイクロ波を導入してプラズマを生起させる際、容器内面を構成する部材の材質および部材の厚さを変えてプラズマの安定性を調べた。

図 1 において、1 0 0 は内部が減圧可能な容器、1 0 1 はチャンバ、1 0 2 は第 1 の誘電体板、1 0 3 は導波誘電体板、1 0 4 は被処理体、1 0 5 はプラズ
20 マ、1 0 6 はアンテナスロット板、1 0 7 は同軸管、1 0 8 はアンテナガイド、1 0 9 は電極、1 1 0 はスロット、2 0 1 はラジアル・ライン・スロット・アンテナ、2 0 2 は第 1 のリング、2 0 5 は空間 3、2 0 6 は空間 4、2 0 7 は空間 5 である。

図 1 において、内部が減圧可能な容器 1 0 0 は、チャンバ 1 0 1 (材質：
25 SUS) と、第 1 の誘電体板 1 0 2 (材質：石英) と、これらの間に設けた真空シール機能を有する第 1 のリング 2 0 2 とから構成されており、容器 1 0 0 の内部は不図示の排気システムによって減圧することができ、容器 1 0 0 は電氣的に接地してある。

容器 1 0 0 外には、アンテナガイド 1 0 8 (材質：Al)、アンテナスロット

板 106 (材質: Cu)、導波誘電体板 103 (材質: 石英) から構成されるラジアル・ライン・スロット・アンテナ 201 が設置され、同軸管 107 (材質: Cu) を通しマイクロ波がアンテナ 201 内に導入され、アンテナスロット板 106 に設けられた各スロット 110 から漏れながら径方向に伝搬し、容器 100 内に電波を放射し、不図示の原料ガス供給系から、容器 100 内部へガスを流し込み、プラズマ 105 を励起させる。容器 100 内には被処理体 104 を保持する機能を有する電極 109 があり、電極 109 はアンテナ 201 と平行に対向するように設置され、被処理体 104 を加熱する機構を有している。また、容器 100 外部から電極 109 を上下に可動させることが可能となっており、第 1 の誘電体板 102 との距離を約 10 mm ~ 60 mm まで変化させることができる。

図 2 は、図 1 に示したラジアル・ライン・スロット・アンテナ 201 を下方からみた模式的な平面図である。アンテナスロット板 106 には、スロット板を貫通する穴部 (以下、スロット) 110 が配置されているが、スロット 110 の配置は図 2 の配置に限定されない。

スロット 110 は、2 つのスロット 111 a と 111 b を 1 つの対としており、アンテナ 201 へ同軸管 107 を通して入射される管内波長 λ_g の $1/4$ の距離で直角に配置されている。前記スロット 111 a と 111 b からなる対、すなわちスロット 110 は各々が円偏波の電波を出すことができ、複数のスロット 110 は同心円状に多数設けられている。スロット 110 の配置は同心円の他に螺旋状に設けてあっても構わない。これらの例に限定されることはないが、本例では同心円状に配置することにより、前記電波を大面積内で均一に放射できるように設けた。

また、円偏波の電波を放射することに限定されるわけではなく直線偏波を用いてもよいが前記円偏波の方が好ましい。

107 はスロット板 106 にマイクロ波を供給するための同軸管であり、不図示の同軸管-導波管変換器を介して導波管から整合器を介してマイクロ波電源が接続されている。

また、被処理体 104 をチャンバ 101 内外に搬送するための手段などが必要

であるが、図1では省略してある。

本例では、ラジアル・ライン・スロット・アンテナ201に同軸管107よりマイクロ波（周波数＝8.3GHz）を導入し、アンテナ201より電波を放射し容器100の空間5（207）の中にプラズマ105を励起させた。しかし、
5 SUSチャンバ101では、空間5（207）の中にプラズマ105が励起しなかった

そこで、前記SUSチャンバ101の内表面に、鉛、タンタル、タングステン、アルミニウム、金、銅、銀からなるめっき層（7種）をそれぞれ施し、上記プラズマの着火実験を行なった。その際、プロセスガスとしてはArガスを用
10 い、ガス圧力は500mTorrとした。

図3は、プラズマの着火実験の結果である。この時、めっきの厚さはマイクロ波の $d = (2/\mu_0\sigma\omega)^{1/2}$ から決定する表皮深さよりも厚い必要があるため、約10 μ mとした。図3から、チャンバ101の内表面の材質の導電率が高くなればなるほどプラズマは励起しやすいことがわかった。この実験結果は、マイクロ波を容器100内に導入した瞬間には、容器100内は共振器状態となっており、プラズマを着火するには高電界が必要なため、共振器のQ値を高くしなければならぬことを意味する。
15

図4は、SUSチャンバ101の内表面にアルミニウムめっき層を設け、その厚さとアンテナ201に導入するマイクロ波の波長とを変えて、プラズマの着火実験を行った結果である。図4から、マイクロ波の周波数が2.45GHzの場合には、マイクロ波の $d = (2/\mu_0\sigma\omega)^{1/2}$ から決定する表皮深さ1.67 μ mよりもアルミニウムめっき層が厚いとき、プラズマが安定していることが分かった。また、マイクロ波の周波数が8.3GHzの場合には、マイクロ波の $d = (2/\mu_0\sigma\omega)^{1/2}$ から決定する表皮深さ0.89 μ mよりもアルミニウムめ
25 き層が厚いとき、プラズマが安定していることが確認できた。

ここで、 μ_0 は真空透磁率、 σ は該当材料の導電率、 ω はマイクロ波の角周波数である。

上述した結果から、以下の点が明らかとなった。

①容器内面を構成する部材の材質がSUSの場合は、導体損が大きく着火しに

くい。

②容器内面を構成する部材の材質を導電率の高い材料で置き換えることにより、共振器のQ値が比較的高くなり、着火しにくいという問題は生じなくなる。

③チャンバ101の内表面はアルミニウムの導電率 ($3.7 \times 10^7 [\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$) 以上の導電率を有する材料を用いたときプラズマは安定となり、その具体的材料としては銅、金、銀などが挙げられる。

以上の結果を盛り込んだ装置としては、図5や図6に示すものが挙げられる。図5の装置は、SUSチャンバ101の内表面にアルミニウムのめっき層112を厚さ10 μm 施した点が図1の装置と異なる。図6の装置は、上述した材料からなる板材113（マイクロ波により決定される表皮深さ以上の厚さのもの）などを用い、チャンバの内表面を覆った点が図1の装置と異なる。図5と図6の装置は、プラズマの安定性という点から同等であることが確認された。

（実施例2）

本例では、図5のプラズマ装置において、第1の誘電体板102（材質：石英）が第1のリング202と接触して真空シールする領域に、図7に示すように金属薄膜114を設け、第1のリング202がアンテナスロット板106から放射される電波に曝されないようにした点が実施例1と異なる。第1のリング202としてはフッ素系樹脂からなるものを用いた。

図8は、図7における領域Aの拡大図であり、第1の誘電体板102（材質：石英）が第1のリング202と接触して真空シールする領域に、金属薄膜114を設けた場合を示す。

第1のリング202が樹脂などのマイクロ波を吸収するような材料である場合は、アンテナスロット板106から放射される電波により直接加熱され、長時間の放電により、損傷してしまうことが分かった。

そこで、第1の誘電体板102が第1のリング202と接触して真空シールする領域に、金属薄膜114としてアルミニウム、ニッケル、銅それぞれの材質からなるめっき層を各10 μm の厚さで設けた。この10 μm という厚さは、実施例1で確認済みであり、マイクロ波を十分反射することができるマイクロ波の $d = (2/\mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$ から決定する表皮深さよりも厚い値である。このように

金属薄膜 114 を設けた装置を用い、第 1 の O リング 202 の耐久試験をおこなった。その結果、ニッケル（導電率： $1.4 \times 10^6 [\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$ ）を用いた場合は、導電率が低いため、十分にマイクロ波を反射しきれず、マイクロ波のパワーが熱損失となってしまう、第 1 の O リング 202 は過度に加熱され放電時間が 2 ～ 3 時間後には損傷がみられた。一方、導電率が比較的高いアルミニウム（導電率： $3.7 \times 10^7 [\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$ ）や銅（導電率： $6.0 \times 10^7 [\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$ ）を用いた場合は、放電時間が 100 時間後でも第 1 の O リング 202 に損傷は確認されなかった。

ゆえに、金属薄膜 114 としては、導電率が高く、第 1 の誘電体板 102 との密着性がよいことが挙げられる。また金属薄膜 114 の厚さは、マイクロ波の $d = (2/\mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$ から決定する表皮深さよりも厚い必要があることは言うまでもない。

図 9 は、図 7 における領域 A の拡大図であり、金属薄膜 114 の代わりに、第 1 の O リング 202 自体を、第 1 の誘電体板 102 に設けた金属薄膜 114 と同様の機能を有する金属薄膜 115 で被覆した場合を示す。このように、第 1 の O リング 202 自体を金属薄膜 115 で被覆しても、図 8 の装置と同様の効果がえられる。また、第 1 の O リング 202 を金属製とした場合にも、上記の問題は解決される。

（実施例 3）

本例では、図 10 に示す通り、第 1 の誘電体板 102 と被処理体 104 を保持する電極 109 との間に、所望のガスを略々均一に供給するためのガス導入口 117 を備えた第 2 の誘電体板 116 を設けた装置を用い、空間 2（209）に発生するプラズマ 105 の均一性について検討した。

図 10 は、実施例 2 の結果を盛り込んだ装置であり、第 1 の誘電体板 102 が第 1 の O リング 202 と接触して真空シールする領域に、金属薄膜 114 としてアルミニウム（A1）を厚さ $10 \mu\text{m}$ 施した。また、図 10 に示す第 2 の誘電体板 116 の材質としては、A1N（窒化アルミニウム）を用いた。窒化アルミニウムは、酸素を含んでいないため、石英に比べ放出ガスが少ないという特徴を有する。

図10の装置において、空間1(208)の中へプロセスガスとしてArガスを導入し、アンテナ201にマイクロ波を導入することによって、空間2(209)に発生するプラズマ105の均一性を評価するため、飽和イオン電流密度を調べた。このとき、空間2(209)のガス圧力は50mTorr、アンテナ201に投入するマイクロ波のパワーは1600Wとした。

図11は、飽和イオン電流密度を調べた結果を示すグラフである。図11において、■印はガス導入口117を備えた第2の誘電体板116を設けた場合、●印は第2の誘電体板116を設けない場合、▲印はガス導入口117を備えない第2の誘電体板116を設けた場合、を示す。

図11から、ガス導入口117を備えた第2の誘電体板116を設けることにより、プラズマの均一化が図れることが分かった。また、ガス導入口117を備えない場合(▲印)は、プラズマを励起させるための反応活成種が容器内[すなわち空間2(209)]に存在しないため、プラズマが励起されないということは言うまでもない。

このような第2の誘電体板116を設けることにより、従来の装置では不可能であった直径300mm以上の被処理体104の表面上に、原料ガスを均一に供給することができ、さらに被処理体104から発生する反応副生成物ガスも均一に除去することが可能となった。

上述した第2の誘電体板116では、単位面積あたりのガス導入口117の数が等しくなるように配置したが、この配置に限定されるわけではなく、前記条件を満たすような配置であればよい。

(実施例4)

本例では、図10のプラズマ装置において、第2の誘電体板116(材質:窒化アルミニウム)が第2のOリング216と接触して真空シールする領域に、図12に示すように金属薄膜214を設け、第2のOリング216がアンテナスロット板106から放射される電波に曝されない効果について検討した。金属薄膜214としては厚さ10 μ mのアルミニウム(Al)を、第2のOリング216としてはフッ素系樹脂からなるものを用いた。

図13は、図12の領域Bの拡大図である。

他の点は、実施例2と同様とした。

実施例2と同様に、第2のOリング216の損傷度合いを調べた。その結果、金属薄膜214を設けた場合は、実施例2の金属薄膜114を設けた場合と同様に、放電時間が100時間後でも第2のOリング216には損傷がないことが分

5 かった。

また、図9に示した第1のOリング202と同様に、図10に示した第2のOリング216自体を、第2の誘電体板116に設けた金属薄膜114と同様の機能を有する金属薄膜115で被覆しても、上記金属薄膜214を設けた場合と同様の効果が確認された。

10 (実施例5)

本例では、図12のプラズマ装置において、第1の誘電体板102として誘電損角が異なる材質を用い、空間2(209)に発生するプラズマの密度(飽和イオン電流)を調べた。

第1の誘電体板102を構成する誘電損角が異なる材質としては、ベークライト(BM-120、誘電損角=0.044)、ガラス(コーニング® #0010、誘電損角=0.006)、AlN(誘電損角=0.001)、SiO₂(誘電損角=0.0001)を用いた。このとき、第2の誘電体板116を構成する材質はAlNとした。

15

他の点は、実施例2と同様とした。

図14は、飽和イオン電流密度の測定結果を示すグラフである。図14から、誘電損角 $\tan \delta$ が小さくなるほど電力損失が小さくなり、容器内へマイクロ波電力が損失なく供給されるため、プラズマの密度(飽和イオン電流)が増加することが分かった。特に、第1の誘電体板102として誘電損角 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下の材質を用いたとき、 12 mA/cm^2 以上の高い飽和イオン電流を有する

25 プラズマが得られることが分かった。これより、第1の誘電体板102の材質としては、誘電損角 $\tan \delta$ がより低い材質のものが望ましく、例えば $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下である石英(SiO₂)、窒化アルミニウム(AlN)が好適である。

(実施例6)

本例では、図12のプラズマ装置において、第2の誘電体板116として誘電損角が異なる材質を用い、空間2(209)に発生したプラズマの密度(飽和イオン電流)を調べた。

第2の誘電体板116を構成する誘電損角が異なる材質としては、ベークラ
5 イト(BM-120、誘電損角=0.044)、ガラス(コーニング® #
0010、誘電損角=0.006)、AlN(誘電損角=0.001)、
SiO₂(誘電損角=0.0001)を用いた。このとき、第1の誘電体板
102を構成する材質は石英とした。

他の点は、実施例5と同様とした。

10 本例の場合も、図14とほぼ同様の結果が得られた。すなわち、第2の誘電体
板116として誘電損角 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下の材質を用いたとき、 $12\text{ mA}/\text{cm}^2$ 以上の高い飽和イオン電流を有するプラズマが得られることが分かった。

しかしながら、第2の誘電体板116はガス導入口117を備える必要があり、加工精度の良好な材質であることも要求される。従って、第2の誘電体板
15 116の材質としては、 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下である石英(SiO₂)、窒化アルミニウム(AlN)が挙げられるが、加工精度を考慮すると窒化アルミニウム(AlN)が好適である。

(実施例7)

本例では、図15に示すプラズマ装置において、第1の誘電体板102と第2
20 の誘電体板116との間の空間1(208)でプラズマが励起されない条件を検討するため、以下のような実験を行った。

図15は、図12の装置を示す図面に、空間1(208)の圧力P1、空間2(209)の圧力P2、第1の誘電体板102と第2の誘電体板116との間の距離 t_g を付記した図面である。

25 図16は、空間1(208)でプラズマが励起されたか否かを観測するために用いた治具の概略図である。図16の治具を、図1に示すプラズマ装置の容器100の一部である第1の誘電体板102(材質:石英)の直下に設置した。図16において、301は上部ガラス板、302は下部ガラス板、303は中間ガラス板、304は空間6、305はタングステンワイヤ、306はセラミックで

被覆されたアルミニウムワイヤである。

図16の治具は、厚さ2mmの2枚のガラス板(301、302)が t_g なる
間隔を隔てて固定されている。間隔 t_g の空間5の内側にプラズマが侵入しない
ように、2枚のガラス板(301、302)で挟まれた空間6(304)の側部
5 は別のガラス(303)でカバーされている。なお、空間6(304)内は密封
されてはいないため、ガスが侵入して空間6(304)内の圧力と前記容器内の
圧力はほぼ等しくなる。

空間6(304)内におけるプラズマ生成の有無を確認するために、ギャップ
内に2本のプローブ(305a、305b)を挿入した。プローブ(305a、
10 305b)は、直径0.1mm ϕ 、長さ8mmのタングステン線である。プロー
ブ(305a、305b)にマイクロ波が照射すると加熱されてしまうため、プ
ローブ(305a、305b)周辺のガラスの外表面は銅板でシールドした(不図
示)。電氣的にフローティング状態にある2本のプローブ(305a、
305b)間に可変電圧を印加し、流れる電流をマルチメータで測定した。

15 図17は、2本のプローブ(305a、305b)間に可変電圧を印加したと
き観測されるプローブ電圧とプローブ電流との関係を示すグラフである。図17
の曲線(a)は、空間6(304)内でプラズマが発生した場合であり、左右対
称の電流電圧特性が得られる。一方、図17の曲線(b)は、空間6(304)
内でプラズマが発生しない場合であり、ノイズ成分のみが観測される。しかし、
20 空間6(304)内で発生するプラズマは不安定な場合が多いので、図17のよ
うに対称性のよい電流電圧特性が得られるとは限らない。そこで、電流値が一点
でも 10^{-7} Aを越えて観測された場合には、空間6(304)内でプラズマが発
生しているとする判断基準を設けた。

本例では、2枚のガラス板(301、302)の間隔 t_g が0.7、1.
25 4mmの場合、マイクロ波の周波数が2.45、5.0、8.3GHzの場合、
を組み合わせることにより6条件にてプラズマの着火実験を行なった。その際、
空間6(304)内の圧力が0.1~10 TorrとなるようにArガスを導入
した。また、マイクロ波パワーは最大1600Wまで投入した。

表1は、上記6条件におけるプラズマの着火実験の結果を示す。表1におい

て、○印は空間 6 (304) 内でプラズマが発生がしないことを、×印は空間 6 (304) 内でプラズマが発生したことを、それぞれ示す。

(表 1)

5	t g [mm]	マイクロ波の周波数 [GHz]		
		2. 45	5. 0	8. 3
	0. 7	×	○	○
	1. 4	×	×	×

表 1 に示すとおり、2 枚のガラス板 (301、302) の間隔 [すなわち空間 10 6 (304) の間隔] t g が 0. 7 mm、マイクロ波の周波数が 5. 0、8. 3 GHz という組み合わせの場合には、マイクロ波パワー 1600 W (パワー密度 $1. 27 \text{ W/cm}^2$) まで投入しても、空間 6 (304) 内でプラズマは励起されなかった。一方、他の組み合わせでは、プラズマが励起することが確認された。

15 図 18 は、上記 6 条件の内、空間 6 (304) 内でプラズマが発生した 4 条件において、最小放電パワーと Ar 圧との関係を調べた結果である。図 18 から、マイクロ波の周波数が低い場合 (例えば、2. 45 GHz) には、空間 6 (304) の間隔 t g を 0. 7 mm まで狭くしても、空間 6 (304) 内において低パワーでもプラズマが励起してしまうことが分かった。

20 これに対して、マイクロ波の周波数を高くし (例えば、5. 0 GHz 以上) かつ空間 6 (304) の間隔 t g を 0. 7 mm 以下まで狭くすることにより、マイクロ波パワー 1600 W (パワー密度 $1. 27 \text{ W/cm}^2$) まで投入しても、空間 6 (304) 内でプラズマは励起されない。

従って、図 15 に示すプラズマ装置において、第 1 の誘電体板 102 と第 2 の 25 誘電体板 116 との間の空間 1 (208) でプラズマを励起させないためには、アンテナに投入されるマイクロ波の周波数を 5. 0 GHz 以上、かつ、空間 1 (208) の間隔を 0. 7 mm 以下、とすることで解決できる。

また、図 15 に示すプラズマ装置において、第 1 の誘電体板 102 と第 2 の誘電体板 116 との間の空間 1 (208) における圧力 1 (P1) と、被処理体

104を保持する電極109が配置され、第2の誘電体板116と第2の誘電体板116以外の容器の壁部（チャンバ）101で囲まれた空間2（209）における圧力2（ P_2 ）との関係が $P_1 > P_2$ のとき、空間1（208）でプラズマが励起されないことも確認された。特に、 P_1 が P_2 に比べて十分高いとき、例えば10倍程度の圧力差があるとき、その効果が極めて得られることも分かった。

従って、空間1における圧力1（ P_1 ）が空間2（209）における圧力2（ P_2 ）より高くなるように差圧を発生させる手段5を設けることにより、空間1（208）においてプラズマが励起されるのを防ぐことができる。

10 （実施例8）

本例では、図15に示すプラズマ装置において、アンテナを構成するスロット板に設けられたスロット（該スロット板を貫通する穴部）のうち、空間2（209）で発生させたプラズマの密度が局所的に高い部分に位置する該スロットを、小型化する、遮蔽する、あるいは設置しない効果について検討した。

15 図19は、図15の装置において、スロット板の中心付近に位置するスロット110'に遮蔽板119を設けたときのスロット板を示す模式的な断面図である。図20は、スロット板の中心付近に位置するスロット110"のサイズを小型化したときのスロット板を示す模式的な平面図である。図20（b）は、図20（a）における領域Aの拡大図である。

20 図20では、スロット板の内側から2周分のスロットのみ長さを短くした場合を示しているが、スロットのサイズを小型化は例えばスロットの長さを短くすることにより達成しても構わない。

図21は、図19に示すスロット板を用い、空間2（209）で発生させたプラズマの密度を調べた結果である。図21において、スロットAは遮蔽領域が小の場合、スロットBは遮蔽領域が中の場合、スロットCは遮蔽領域が大の場合をそれぞれ示すスロット分布の名称である。

図21から、スロットAでは測定電極中心でプラズマの密度が上昇しているのがわかる。この部分に遮蔽板119を設置し、スロットBのようなスロット分布にすることでプラズマ密度の均一化を図ることができる。しかし、スロットCの

ようにさらに遮蔽領域を広げると、スロットAとは逆に、電極外周でプラズマの密度が上昇してしまう。

従って、適当な遮蔽領域を有する遮蔽板119を設けることにより、スロットから放射される電波の出力を低減し、励起されるプラズマ密度をより均一化することができる。

上述した作用・効果が望める遮閉板119は、スロット板のスロットを遮閉するものであれば形状、寸法にはこだわらない。すなわち、スロットを小型化したり、あるいは設置しないという方法を用いても、スロットを遮蔽したときと同様の効果が期待できることはいうまでもない。

10 (実施例9)

本例では、図15に示すプラズマ装置において、アンテナ近傍に該アンテナを所定の温度に保つ手段6と、前記第1の誘電体板近傍に該第1の誘電体板を所定の温度に保つ手段7とを設ける効果について検討した。

図15に示すプラズマ装置において、図22に示すようにアンテナガイド108付近に、アンテナガイド108、導波誘電体板103、スロット板106及び第1の誘電体板102を所定の温度に保つことのできる機構120、121を設けた。機構120と121は、それぞれ手段6と7に相当するものである。

その際、スロット板106が導波誘電体板103に完全に密着するように配置した。このような配置をとることにより、スロット板106と導波誘電体板103の間に隙間が存在するとその部分で表面波が発生し、効率よく電波を放射できないという現象を回避できる。そのため、導波誘電体板103は外部からの力および熱に対して略々その形状を変化させることがない、熱伝導率が高く、マイクロ波の損失が少ない材料を用いる必要があり、例えば石英ガラス(SiO_2)や、窒化アルミニウム(AlN)等があげられるが、この材料に限定されるわけではなく、前記条件を満たすような材料であればよい。

本例では、上記機構120、121において、熱媒体を流し、前記所望の箇所を冷却する方法をとっているが、前記熱媒体としては熱伝導率の高い材料が好ましい。このような熱媒体としては、液体、気体（ヘリウム、窒素等）などが挙げられるが、その限りでないことはいうまでもない。

(実施例 10)

本例では、図 23 に示すように、スロット板 106 と第 1 の誘電体板 102 との間の空間に、スロット板の湾曲を防止する手段 8 としてスペーサ 118 を設けた点が実施例 9 と異なる。本例では、スペーサ 118 をテフロンで作製した。

- 5 実施例 9 によりスロット板 106 の湾曲を防止しきれない場合には、スペーサ 118 をスロット 106 と第 1 の誘電体板 102 との間の空間に設けることにより、スロット板 106 の湾曲を防止することができるようになっている。

スペーサ 118 はスロット板 106 からの電波の放射を阻害しないように、スロット板 106 のスロット 119 が開口していない位置に設けてある。

10 (実施例 11)

本例では、図 24 に示すように、空間 2 に発生したプラズマの有無を検知する手段 9 として、センサ 122 を容器もしくはその周辺に設置した点が実施例 9 と異なる。

- センサ 122 は不図示のマイクロ波電源に接続されており、容器 101 内に該
15 プラズマが励起されているときは、プラズマを検知し、マイクロ波電源を出力させ、該プラズマの励起が阻害され、プラズマが消えてしまったときは、ただちに前記マイクロ波電源の出力を停止できるようにした。本例では、前記センサ 122 としてフォトトランジスタを用いてプラズマの発光を検知したが、その他の手段でも構わない。しかし本例のように、容器 101 外部に設置できるほうが
20 メンテナンスの容易性という面から好ましい。

したがって、センサ 122 の採用により、プラズマの励起が不意に絶たれた場合、アンテナ 201 から放射される電波によって容器 101 の内部及び被処理体 104 などが不用意に加熱され、破損するのを防ぐことができる。

(実施例 12)

- 25 本例では、容器内部において容器壁面および前記被処理体以外の部分の温度をそれぞれ 150℃以上まで上昇させるための機構、又は／及び、排気システムが排気システムを構成する全てのユニット内の温度を 150℃以上まで上昇させるための機構を有する効果について検討した。

上記効果は、図 25 に示す真空装置を用い、真空容器内壁の温度と反応副生成

物（重合膜）堆積の関係、すなわち堆積膜厚の内壁温度依存性について、50～250℃の範囲で調べた。

図25において、501はチャンバ、502はプラズマ、503は被処理体、504は電極、505はヒータ、506はレーザ、507はフォトディテクタ、
5 である。その際、使用したガスは C_4F_8 と H_2 の混合ガス [$C_4F_8:H_2=7:3$ 、トータルガス流量：40 (sccm)] であり、圧力を10mTorr、放電パワーを1000Wとした。図25の真空装置では、Siウェハを銅製ロッドの平坦な先端に取り付け被処理体503とし、その加熱はロッドの内部に備えたシースヒータ505で行なった。

10 図26は、重合膜の堆積速度とチャンバの内壁温度との関係を調べた結果である。図26から、重合膜の堆積量はウェハ温度の増加と共に急激に減少し、150℃付近で重合膜の堆積が観察されなくなることが分かった。

よって、容器内部において容器壁面および前記被処理体以外の部分の温度をそれぞれ150℃以上まで上昇させるための機構、又は／及び、排気システムが排
15 気システムを構成する全てのユニット内の温度を150℃以上まで上昇させるための機構を備えることにより、水分および反応副生成物からなる重合膜の付着を防止できると判断した。

（実施例13）

本例では、図27に示すように、被処理体104を加熱する手段としてキセ
20 ン(Xe)ランプを用いた点が実施例9と異なる。

Xeランプ125は、チャンバ101の外部から、光の導入口124および光を透す材料からなる窓123を通してキセノンランプの光を被処理体104に照射することにより、被処理体104の表面のみを効果的に加熱することができる。

25 本例では、被処理体104を加熱する手段としてXeランプを用いたが、他の光源を用いても、あるいは被処理体104を保持している電極109を直接電熱線などで加熱してもよいが、Xeランプ照射による加熱が好ましい。

また、図27では容器101の外部の一部にキセノンランプ導入口124を設けているが、容器101外周均一に複数個設けたほうがより好ましい

(実施例 14)

図 28 にフロロカーボン系ガスの回収・再利用にステージドクーラー方式を採用したときの簡単な概略図を示す。前記容器内から排気されたガスを高沸点のガスから段階的に冷やし、液化・蒸留精製し液体として再利用を行なうことができる。フロロカーボンは、地球温暖化効果が CO_2 の 10 万～100 万にも達するためフロロカーボン系ガスの回収・再利用の効果は絶大なものである。

(実施例 15)

チャンバに付着した反応副生成物をチャンバ内壁にダメージを与えることなく高速除去するという、セルフクリーニング用ガスプラズマに求められることは、
10 以下の 2 点である。

- ① イオン、ラジカル密度が高い
- ② プラズマポテンシャルが低い (チャンバ壁に入射するイオンのエネルギーが小さい)

また、これらと同時にイオン照射に強いプラズマ耐性の優れたチャンバ内壁材
15 も求められる。

図 29 にさまざまなフッ素系ガスの平均結合エネルギーとそのプラズマパラメタとの関係を示す。この図より、結合エネルギーとプラズマパラメタの間に密接な関係があることが、より明確にわかる。つまり、結合エネルギーが小さい程イオンの照射エネルギーが小さく、イオン密度が高くなる。プラズマポテンシャルはガス分子の結合エネルギーに大きく依存しない。このことから NF_3 がもっともセルフクリーニングに適したガスである事が分かる。よってセルフクリーニング機構を持たせる場合、前記容器内壁をプラズマ耐性の優れたものにしなければならず
20 $\text{AlF}_3/\text{MgF}_2$ 合金などを用いることが最適である。

図 30 は、図 15 の装置のチャンバ内壁材に $\text{AlF}_3/\text{MgF}_2$ 合金を用い、ク
25 リーニング用ガスとして、ガス分子の結合エネルギーが小さいガス種 (NF_3 等) を使用したとき、前記 $\text{AlF}_3/\text{MgF}_2$ 合金のプラズマ照射によるダメージ評価をした結果である。図 30 (a) は NF_3 プラズマ照射前、図 30 (b) は NF_3 プラズマ 2 時間照射後の $\text{AlF}_3/\text{MgF}_2$ 合金の XPS (X 線光電子分析) による深さ方向のプロファイルである。図 30 の結果から、 $\text{AlF}_3/\text{MgF}_2$ 合金は

プラズマ照射によって殆どダメージが入らないことが分かった。

従って、装置にセルフクリーニング機構を持たせる場合、容器内壁をプラズマ耐性の優れたものにしなければならず、 AlF_3/MgF_2 合金などを用いることが最適である。

5 (実施例16)

本例では、図15に示すプラズマ装置において、容器101外に第1の誘電体板102を介してアンテナ201を設置し、マイクロ波（周波数8.3GHz）を同軸管107を通してアンテナ201に導入し、電波を容器101内に放射することにより、プラズマを励起させた。

- 10 図31は飽和イオン電流密度の分布を、図32は電子温度の分布を、図33は電子密度の分布を、それぞれ測定した結果を示すグラフである。

図31乃至図33から、本発明に係るプラズマ装置は、 $14mA/cm^2$ 以上の飽和イオン電流、 $1.0eV$ （15000K）程度の電子温度、 10^{12} 以上の電子密度を有する高密度プラズマを、容器101内において直径300mm以上
15 の大面積上にわたって、均一に励起できることが分かった。

図34は、上記イオン電流分布を測定するシステムの概略図である。これは円盤状電極401を用いたイオン電流分布の測定である。図15に示すプラズマ装置における被処理体104及び電極109の代わりに円盤状電極401を用いた。

- 20 図34において、401は円盤状電極、402はピン、403はアルミニウム線、404は抵抗、405はオペアンプ、406はA-Dコンバータ、407はコンピュータ、408はステッピングモータ、409は電源である。

図34の円盤状電極401は直径300mmφの円盤状のアルミニウム製であり、円盤状電極401の上には直径4mmφのピン402が中心から半径
25 140mmの地点までライン上に9本、等間隔に埋め込まれている。

プラズマからピン402に流れ込む電流は、ピン402に接続されたセラミックコート
のアルミニウム線403及び電流導入端子（不図示）を介してチャンバ外部に取り出される。ピン402にはチャンバの電位に対して-20Vの電圧が印加されており、プラズマ中の正イオンのみが流れ込む。この正イオンの流れ込

みにより生じた電流は抵抗404によって電圧信号に変換され、オペアンプ405で増幅された後、16チャンネルのA-Dコンバータ406でデジタル信号に変換され、コンピュータ407に転送される。

5 なお、アルミニウム製の電極401は、ポリイミドテープ（不図示）で覆われている。ステッピングモータ408による電極401の回転とA-Dコンバータ406によるイオン電流の測定は、コンピュータ407を用いて同期して行われる。電極401の1回転あたり、ピン402の1本あたりのイオン電流の測定回数は200回であり、細かい二次元分布が得られる。

10 図35は、本例において電子温度および電子密度の測定に用いたシングルプローブの構造を示す模式図である。

15 マイクロ波電力密度が大きい部分に図35に示すようなプローブを挿入すると、プローブチップ（タングステンワイヤ、0.1mmφ）601がマイクロ波で加熱されて、熱電子が放出する可能性がある。また、プローブシース内で頻りに電離が起こる可能性がある。どちらにしても、本来のシングルプローブの電流電圧特性が得られなくなる。

20 そこで、マイクロ波を遮蔽する目的で、0.5 mmφの銀線を螺旋状に巻いた銀ワイヤ602を、プローブチップ601の周りに隙間を空けて設置した。前記銀線を用いたのは、抵抗の低い材料を用いることで、マイクロ波によるそれ自体の加熱を防止するためである。また、遮蔽するために比較的細い線を用いたのは、プラズマに与える影響を最小限に抑えるためである。

25 螺旋状の前記銀線を設置した場合とそうでない場合の電流電圧特性の比較を行った。マイクロ波電力密度が小さい部分では、両者の特性にほとんど差は見られなかった。マイクロ波電力密度が大きい部分では、螺旋状の前記銀線を設置しない場合には前記プローブに負電位を印加したときに電流値が著しく増加したが、螺旋状の前記銀線を設置した場合には通常の特性が得られた。このように、プラズマ中のマイクロ波電力密度が大きい場合には、金属線602等でプローブチップ601周辺のマイクロ波を遮蔽することが有効である。

 各プラズマパラメータのz方向〔図15の装置において、第2の誘電体板116から電極401（109）を望む方向〕の分布を求めるために、ステッピ

ングモータ408を用いて前記プローブをz方向に移動できる構造とした。プローブの最高移動速度は300mm/sec、位置分解能は0.02mmとした。ステッピングモータ408による前記プローブ位置の制御と電流電圧特性の測定は、コンピュータ407を用いて同期して行われる。前記プローブの加熱を
5 防止するため、z方向の往復時間は5秒以下に抑えて実験を行なった。

(実施例17)

本例では、図15に示すプラズマ装置において、被処理体104の保持機能を有する電極109に高周波を印加することにより、被処理体104に対してプラズマエッチングを行なった。被処理体104としては、MOSトランジスタの
10 ゲート電極材料として主に用いられているPoly-Si膜が表面に形成されたSiウェハを用い、このPoly-Si膜をエッチングした。

被処理体104の保持機能を有する電極109には、高周波バイアスを印加できる手段(不図示)から高周波を印加した。原料ガスとして、Cl₂、O₂、HBr等のガスを用いたが、これらのガスに限定されるわけではない。

15 図36は、プラズマエッチングの結果を示すグラフである。図36から、被処理体(サイズ300mmφ)上での測定ポイント計9点(中心点、及び中心から150、280mmφ上でそれぞれ等配4分割された8点)において、Poly-Si膜の単位時間当たりの削れ量(エッチングレート)の均一性は約5%であり、非常に均一なエッチングが大口径(300mmφ)の被処理体上で可能なこと
20 が確認された。

(実施例18)

本例では、本発明の装置を、被処理体の表面を低温で酸化するためのプラズマ酸化装置に応用した場合を示す。ここでは被処理体としてSi基板を用い、Si基板表面をO₂で直接酸化し、ゲート酸化膜を形成した場合について説明する。

25 原料ガスはAr及びO₂を用いている。キャリアガスとしてArの代わりにXeを用いても構わない。また、ArとO₂からなる混合ガスに、Heなどを加えてもよい。

図37は、本例で作製した素子の断面図と、素子の絶縁耐圧の測定系とを合わせて示した模式図である。

図37において、絶縁耐圧の測定をした素子は、n型Siウェハからなる被処理体701、フィールド酸化膜702、ゲート酸化膜703、ゲート電極704から構成される。また、705は絶縁耐圧の測定に用いた探針、706は電圧計、707は電圧印加手段、708は電流計である。

5 図37に示す素子の形成および絶縁耐圧の測定は、次に示す手順で行った。

(1) n型Siウェハ701上に、 SiO_2 からなるフィールド酸化膜702 (厚さ: 800 nm) を熱酸化法 [$(\text{H}_2 + \text{O}_2)$ ガス、 $\text{H}_2 = 1 \text{ l/min}$ 、 $\text{O}_2 = 1 \text{ l/min}$ 、被処理体の温度 = 1000°C] で形成後、フィールド酸化膜702の一部をウェットエッチング処理し、n型Siウェハ701の表面を露出
10 させた。

(2) n型Siウェハ701の露出させた表面のみ、本発明に係るプラズマ装置を用いて直接酸化させ、 SiO_2 からなるゲート酸化膜703 (面積 = $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 、厚さ = 7.6 nm) を形成した。

その際の成膜条件は、成膜ガスは $(\text{Ar} + \text{O}_2)$ 、ガス圧は 30 mTorr、
15 分圧比は $\text{Ar} : \text{O}_2 = 98 : 2$ 、マイクロ波パワーは 700 W、酸化処理時間は 20 分、被処理体は電氣的にフローティング状態に保持、被処理体の温度は 430°C 、とした。

(3) フィールド酸化膜702およびゲート酸化膜703の上に、Alからなるゲート電極704 (厚さ = 1000 nm) を蒸着法で形成した。

20 (4) 探針705をゲート電極704に接触させ、ゲート電極704を介して直流電圧をn型Siウェハからなる被処理体701に印加し、ゲート酸化膜703が絶縁破壊する電圧 (すなわち絶縁耐圧) を電圧計706で測定した。

図38は絶縁耐圧の測定結果を示すグラフである。図38(a)は本発明に係る装置でゲート酸化膜を作製した場合を示す。一方、図38(b)は従来の装置
25 でゲート酸化膜を作製した場合である。従来の装置とは、平行平板型の電極に周波数 100 MHz の高周波を印加してプラズマを発生させ、ゲート酸化膜を形成する装置である。

図38において、横軸は絶縁耐圧、縦軸は各絶縁耐圧が得られた素子の頻度を示す。例えば、横軸 10 MV/cm の棒グラフは、絶縁耐圧が 9.5 ~ 10.

4 MV/cmの範囲にある素子の発生頻度である。測定した素子数は、図38(a)、図38(b)それぞれ30個である。

図38から以下に示す点が明らかとなった。

①従来の装置で作製した素子は、絶縁耐圧の分布が広く（すなわち均一性が悪く）かつ平均耐圧は10.2 MV/cmであった[図38(b)]。

②本発明の装置で作製した素子は、絶縁耐圧の分布が狭く（すなわち均一性が良く）かつ11.9 MV/cmの高い平均耐圧が得られることから、ゲート酸化膜の膜質が向上したことが分かった[図38(a)]。

従って、本発明に係るラジアル・ライン・スロット・アンテナを備えたプラズマ装置を用いて直接酸化を行うことにより、高い均一性と高い耐圧とを有する酸化膜が形成できるため、優れた絶縁耐圧を有する素子が安定して作製できることが確認された。

また本例では、本発明の装置を、被処理体の表面を低温で酸化するためのプラズマ酸化装置に応用したが、被処理体の表面を窒化するためのプラズマ窒化装置に応用しても均一性の高い窒化膜が得られることが確認された。

（実施例19）

本例は、本発明を基板表面に薄膜を成膜するためのプラズマCVD装置に適応した場合における実施例を示すものである。アモルファスSi基板上に単結晶Siを成膜する場合について説明する。

本例では、アモルファスSi上に単結晶Siの成膜を行ったが、前記アモルファスSi上に多結晶Siを成膜することも可能である。成膜される基板の材質はSiに限定されるわけではなく、ガラス、石英基板などでも構わない。

原料ガスとしてSiH₄、H₂及びArを用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではなく、Arの代わりにXeを用いてもよいが、Xeのほうが好ましい。

Arの比率はArを全体の半分以上に保つ必要がある。本例では50%に設定したがこの値に限定されるわけではない。これはマイクロ波を用いたプラズマ励起方法では、プラズマの励起を維持するためには、該プラズマ中の電子密度がある程度高い必要があるため、より高い電子密度を得ることのできるArの比率

を多くする必要がある。

また、アモルファス Si 基板表面はキセノンランプを照射することで温度 500℃に昇温し、プラズマのイオン照射で足りないエネルギーを補った。また、他の昇温方法でも構わないがキセノンランプによる方法が好ましい。

- 5 単結晶 Si をアモルファス Si 基板上に成膜するためには、成膜中の基板表面で成長する結晶 Si の核が面内でその配向性が等しい必要がある。そのため、面内での成膜条件に差が存在すると、結晶核の配向性が揃わないで成膜されてしまうため、面内での成膜条件を完全に均一にする必要性がある。

- 10 本発明のプラズマ装置を用いることで、大面積内で均一な成膜条件に設定することが可能であり、従来のプラズマ装置では不可能であったアモルファス基板上への低温での単結晶 Si の成膜が初めて可能となった。

結果、単結晶 Si を直径 300 mm の Si 基板上に温度 500℃において成膜速度毎分 0.1 μm で成膜することができた。

- 15 また、ガラス基板上に Poly-Si を成膜した結果も、モビリティ（キャリア移動度）が 300 以上という良質な薄膜を得ることができた。

（実施例 20）

本例が、実施例 19 と異なるところは、Si 基板上に SiO₂ を成膜する点であり、その他は実施例 19 と同様であるので省略する。

- 20 本例では、原料ガスとして SiH₄、O₂ 及び Ar を用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではなく、キャリアガスとして Ar の代わりに Xe を用いてもよいし、O₂ の代わりに N₂O を用いても構わない。また、SiH₄ と O₂ と Ar とからなる混合ガスに、He などを加えてもよい。

結果、直径 300 mm の Si 基板上に温度 350℃において成膜速度毎分 0.1 μm で成膜することができ、その面内均一性は ±5% 未満であった。

- 25 （実施例 21）

本例が、実施例 19 と異なるところ Ar は、Si 基板上に Si₃N₄ を成膜する点であり、その他は実施例 19 と同様であるので省略する。

本例では、原料ガスとして SiH₄ 及び NH₃ を用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではなく、Ar の代わりに Xe を用いてもよいし、

NH₃にN₂を用いても構わない。

結果、直径300mmのSi基板上に室温において均一に成膜速度毎分0.1μmで成膜することができ、その面内均一性は±5%未満であった。

(実施例22)

- 5 本例が、実施例19と異なるところは、Si基板上に形成したPt薄膜上に強誘電体薄膜であるBST薄膜[(Ba, Sr)TiO₃薄膜]を形成する点である。その他は実施例19と同様であるので省略する。

本例では、原料ガスとしてBa(DPM)₂、Sr(DPM)₂、TiO(O-i-C₃H₇)₂、O₂及びArを用いたが、これらの組み合わせに限定されるわけ
10 ではなく、Arの代わりにXeを用いても構わないが、ArよりもXeを用いる方が好ましい。

Pt薄膜は先だってスパッタ法によりSi基板上に成膜してあり、電極とBa、Sr、Tiが下地Si基板と反応することを防止するバリアメタルの機能を兼ねている。Pt薄膜に限定されるわけではなく、RuやRuO₂などでも構
15 わない。

結果、直径300mmのPt薄膜上に均一に毎分0.5nmの成膜速度を450℃で得られ、その比誘電率は約160であった。

(実施例23)

- 本例が、実施例19と異なるところは、Si基板上に形成したPt薄膜上に強
20 誘電体薄膜であるSBT薄膜[SrBi₂Ta₂O₉薄膜]を形成する点であり、その他は実施例19と同様であるので省略する。

本例では、原料ガスとして、Sr(DPM)₂、Bi(C₆H₅)₃、TiO(O-i-C₃H₇)₂及びArを用いたが、これらの組み合わせに限定されるわけ
25 ではなく、ArにXeを用いても構わないが、ArよりもXeを用いる方が好ましい。

結果、残留分極率約30μC/cm²の強誘電体薄膜が得られた。

(実施例24)

本例は、本発明を基板表面にダイヤモンド薄膜を成膜するためのプラズマCVD装置に適応した場合の例を示すものである。ここでは、基板としてSiを

用い

、この基板上に成膜をする場合について説明する。

本例では原料ガスとして、 CO 、 H_2 、 O_2 、 Ar としたがこれらの組み合わせに限定されるわけではない。

- 5 基板温度は 500°C に設定した。また、ダイヤモンド薄膜は、炭素ガスの分解及び堆積、ダイヤモンドの核生成、 sp^3 炭素の生成、副生成物（黒鉛状炭素、ポリマー）の除去の素反応が同時に進行し成膜される。ダイヤモンド薄膜の形成には、イオンエネルギーの低い必要があり、従来のプラズマ装置と比較し、本装置は
- 10 大面積上に高密度でかつ低エネルギーのプラズマ生成が可能であるため、成膜速度の高速化および良質な薄膜形成が可能である。

（実施例25）

本例が、実施例19と異なるところは、 Si 基板上に P-SiN を成膜する点であり、その他は実施例19と同様であるので省略する。

- 本例では、基板温度 300°C 、原料ガスとして SiH_4 、 NH_3 及び Ar を用い
- 15 ているがこれらの組み合わせに限定されるわけではなく、 Ar の代わりに Xe を用いてもよいし、 NH_3 に N_2 を用いても構わない。

結果、直径 300mm の Si 基板上に成膜速度毎分 $0.1\mu\text{m}$ で成膜することができ、その面内均一性は $\pm 5\%$ 未満であった。

（実施例26）

- 20 本例が、実施例19と異なるところは、 Si 基板上に P-SiO を成膜する点であり、その他は実施例19と同様であるので省略する。

本例では、基板温度 300°C 、原料ガスとして SiH_4 、 N_2O 及び Ar を用いているがこれらの組み合わせに限定されるわけではなく、 Ar の代わりに Xe を用いてもよい。

- 25 その結果、直径 300mm の Si 基板上に成膜速度毎分 $0.1\mu\text{m}$ で成膜することができ、その面内均一性は $\pm 5\%$ 未満であった。

（実施例27）

本例が、実施例19と異なるところは、 Si 基板上に BPSSG を成膜する点であり、その他は実施例19と同様であるので省略する。

本例では、基板温度450℃、原料ガスとしてSiH₄、PH₃、B₂H₆、O₂及びArを用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではなく、Arの代わりにXeを用いてもよい。

その結果、直径300mmのSi基板上に成膜速度毎分0.1μmで成膜することができ、その面内均一性は±5%未満であった。

(実施例28)

本例では、本発明の装置を、被処理体の表面を低温で窒化するためのプラズマ窒化装置に応用した場合を示す。ここでは被処理体としてSi基板を用い、Si基板表面をN₂で直接窒化した場合について説明する。原料ガスはAr及びN₂を用いている。キャリアガスとしてArの代わりにHeやXeを用いても構わない。また、ArとN₂からなる混合ガスに、He、Ne、Xeなどを加えてもよい。また、N₂の代わりにNH₃を用いてもよい。

図39は、本発明の装置を用い、Ar/N₂=97%/3%の混合ガスを用いて、30分間Si基板表面を直接窒化し、5nmのシリコン窒化膜を成長させた後、X線光電子分光装置を用いてSi表面の化学的結合状態を分析した結果を示すグラフである。横軸は、光電子と原子核との結合エネルギーを示し、縦軸はその結合エネルギーをもった電子の数を示す。比較のため、1300℃、N₂雰囲気中で120分間処理し、5nmのシリコン窒化膜を成長させた表面のスペクトルも示した。図39から、本装置を用いて成膜したシリコン窒化膜のスペクトルには、シリコン基板に起因するピークと表面に成長したシリコン窒化膜のピークが確認された。シリコン窒化膜に起因するピーク位置と形が、1300℃で成膜したシリコン窒化膜のそれとほぼ等しいことから、形成されたシリコン窒化膜が、完全なシリコン窒化膜であることが確認された。

図40は、本例で作成した素子の断面図と、素子の絶縁破壊注入電荷量の測定系とを合わせて示した模式図である。図40において、絶縁破壊注入電荷量の測定をした素子は、n型Siウェハからなる被処理体801、フィールド酸化膜802、ゲート窒化膜803、ゲート電極804から構成される。また、805は絶縁破壊注入電荷量の測定に用いた探針、806は電圧計、807は定電流源、808は電流計である。

図41に示す素子の形成および絶縁破壊注入電荷量の測定は、図40に示した測定計を用いて、次に示す手順で行った。

(1) n型Siウェハ801上に、 SiO_2 からなるフィールド酸化膜802 (厚さ: 800 nm) を熱酸化法 [$(\text{H}_2 + \text{O}_2)$ ガス、 $\text{H}_2 = 1 \text{ l/min}$ 、 $\text{O}_2 = 1 \text{ l/min}$ 、被処理体の温度 = 1000°C] で形成後、フィールド酸化膜802の一部をウェットエッチング処理し、n型Siウェハ801の表面を露出させた。

(2) n型Siウェハ801の露出させた表面のみ、本発明に係るプラズマ装置を用いて直接窒化させ、 Si_3N_4 からなるゲート窒化膜803 (面積 = $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ 、厚さ = 5.6 nm) を形成した。その際の成膜条件は、成膜ガスは $(\text{Ar} + \text{N}_2)$ 、ガス圧は $30 \text{ Torr} \sim 100 \text{ Torr}$ 、分圧比は $\text{Ar}/\text{N}_2 = 99.7\% \sim 90\%/0.3\% \sim 10\%$ 、マイクロ波パワーは 700 W 、窒化処理時間は30分、被処理体は電氣的にフローティング状態に保持し、被処理体の温度は 430°C 、とした。

(3) フィールド酸化膜802およびゲート窒化膜803の上に、Alからなるゲート電極804 (厚さ = 1000 nm) を蒸着法で形成した。

(4) 探針805をゲート電極804に接触させ、ゲート電極804を介して定電流源807より、電流密度が 200 mA/cm^2 となるように、一定電流をn型Siウェハからなる被処理体801に印加し、ゲート窒化膜803が絶縁破壊する時間を測定した。電流密度値にこの時間をかけたものが絶縁破壊注入電荷量である。

図41は、本装置を用いて 430°C で成膜したシリコン窒化膜の絶縁破壊注入電荷量の測定結果を示すグラフである。比較のため、 1300°C 、 N_2 雰囲気中で成膜したシリコン窒化膜の絶縁破壊注入電荷量も同時に示した。図41において、横軸は注入電荷量、縦軸は各注入電荷量が得られた素子の累積頻度を示す。測定した素子数は20個である。図41から、本発明の装置を用いて、Si基板表面に窒化膜を形成した場合、成膜温度が 430°C と低温であるにも拘わらず (通常成膜温度 430°C では、シリコン基板表面を直接窒化させることすらできない。シリコン表面を N_2 ガスを用いて窒化させるためには、 1000°C 以上の

基板温度が必要である。)、最大絶縁破壊注入電荷量 1.23 C/cm^2 が得られ、 1300°C で成膜した膜の絶縁破壊注入電荷量と同等の特性を示すことが分かった。

従って、本発明の装置を用いてシリコン表面の直接窒化を行うことにより、
5 430°C の低温であるにも拘わらず、 1300°C で成膜したシリコン窒化膜と同等の電気特性を有するシリコン窒化膜の成膜が可能であった。

本例では、本発明の装置を、被処理体の Si 表面を低温で窒化するためのプラズマ窒化装置に応用したが、Si 表面に限らず、Ta、W、Al、Ti などの金属表面の窒化に応用しても高品質の金属窒化膜が低い基板温度で得られることが
10 確認された。

(実施例 29)

本例では、本発明の装置を、基板表面に多結晶シリコン薄膜を成膜するためのプラズマ CVD 装置として用い、Si 基板上に形成された酸化膜上に多結晶シリコン膜を形成した例について示す。原料ガスには Ar 及び SiH_4 の混合ガスを用いている。また、Ar と SiH_4 からなる混合ガスに、 H_2 、He、Ne、Xe
15 などを加えてもよい。Ar の代わりに He や Xe を用いても構わない。また、 SiH_4 の代わりに、 Si_2H_6 、 SiHCl_3 、 SiH_2Cl_2 、 SiCl_4 を用いても同様の効果が得られる。基板には、Si 基板上に酸化膜を熱酸化法
20 $[(\text{H}_2 + \text{O}_2) \text{ ガス}, \text{H}_2 = 1 \text{ l/min}, \text{O}_2 = 1 \text{ l/min}, \text{Si 基板の温度} = 1000^\circ\text{C}]$ において 50 nm 形成したものを使用した。本例においては、酸化膜の形成は熱酸化法によっておこなったが、酸化膜の形成の手段は熱酸化法に限るものではなく、いかなる手段によって形成された酸化膜でも構わない。Si 基板表面に酸化膜を形成後、本発明の装置を用いて、基板温度 300°C 、 $\text{Ar}/\text{SiH}_4 = 99.95\%/0.05\%$ の条件で多結晶シリコン薄膜を、
25 120 nm 堆積後、X線ディフракトメータで多結晶シリコン薄膜の分析を行った。比較のため、従来技術の平行平板型 CVD 装置を用いて、基板温度 300°C 、 $\text{Ar}/\text{SiH}_4 = 99.95\%/0.05\%$ の条件で多結晶シリコン薄膜を、 120 nm 堆積後、同様に X線ディフракトメータで多結晶シリコン薄膜の分析を行った。

図4 2は、多結晶シリコン薄膜のX線ディフラクトメータの測定結果を示すグラフである。横軸は面方位に起因するX線の散乱角 2θ を示し、縦軸はその散乱角でのX線強度を示す。X線ディフラクトメータは、ピークの強度が大きいほど、その面方位の結晶性が高いことを示している。図4 2から、本発明の装置によって成膜された多結晶シリコン膜は、従来技術の平行平板のCVDによって成膜された膜よりも、明らかに結晶性が向上していることが分かった。

(実施例30)

本例では、本発明をマグネトロンプラズマエッチング装置に用いた場合の実施例を示すものである。

- 10 平行平板型の2つの電極I及びIIを備え、前記電極Iの前記電極IIと対向する面の上にはプラズマを用いて処理が行われる基体を載置しており、前記基体上に水平でかつ一方向性を有する磁場の印加手段を設けたプラズマ装置であり、前記電極IIは、電氣的に接地された中心部と前記電極Iに接続された高周波電源とは独立して制御できる高周波電源に接続された外周部とから構成され、基体表面付近に生成するプラズマの密度の均一化を図る目的で前記電極Iと電氣的接合する部分に設けた接合インピーダンスを調整する手段を付設したフォーカスリングを備えていることを特徴とする。

本発明に係るエッチング装置構成図は前記図4 4と同様であるので省略する。

- 20 本装置では、磁場の印加手段4 4 1 3として、複数の永久磁石を環状に並べたダイポールリングマグネット（以下DRM）を用いている。DRMを構成する永久磁石は、永久磁石の位置が半周する間に磁化方向が一回転するような向きで並べられている。尚、ここでは磁場としてDRMを用いたが他の磁場印加手段でも構わない。またここでは磁場を用いてプラズマ密度を上げているが、他の手段でも構わず、プラズマ密度を上げる必要がないときは用いなくとも良い。

- 25 また、電極IIは、ここではリング状の金属板であり、基体表面付近のプラズマの面内均一性を向上させるために設けられたものである。高周波電源IIから出力された高周波電力は、整合回路IIを通して電極IIに印加される。電極IIに適切な高周波電力を印加することによって磁場印加によって生じる電極II面上の電子のドリフトと基体面上の電子のドリフトのバランスをとること

で、基体表面付近のプラズマはほぼ完全に均一化される。なお、電極 I I に高周波を印加しなくても基体表面付近のプラズマの面内均一性が良好な場合や、不均一でも問題が生じない場合には特に電極 I I を設ける必要はない。これと同様に
5 リングにおいても基体表面付近のプラズマの面内均一性が良好な場合や、不均一でも問題が生じない場合には小型化する、もしくは設けなくとも良い。

容器内壁面の材質としては、可能な限り放出ガス（水分等）の少ない材質、ここでは A I N を用いた。ただし、この材料に限定されるわけではない。前記電極 I に印加する高周波は周波数 13.56 MHz、前記電極 I I に印加する高周波
10 の周波数は 100 MHz を用いた。この際、前記電極 I I に印加する高周波は電極 I に印加する高周波よりも高い周波数とすることにより、電極 I I にかかるセルフバイアス電位が小さくなるため、前記電極 I I が前記プラズマによりスパッタされ、前記容器内が金属汚染するという問題が解決される。またここで電極 I、I I に印加する高周波の周波数はこれに限定されるものではない。

15 そこで、上記装置の排気システムのみを変更し本発明に関わる排気システムの優位差を従来の排気システム（詳細には、図 43（a）に記載の方法である）と比較した実験を行った。実験方法は、プラズマ処理する基体として直径 200 mm の S i ウェハ上に絶縁膜 B P S G を 1.5 μ m 成膜したものを準備し、これを電極 I 上に載置してプロセスガス比一定でトータルガス流量を増やし
20 しながらエッチングを行い、排気システムの違いによるエッチングレートの測定を行った。尚、基体をエッチングする条件は、電極 I に印加する高周波電力（13.56 MHz）1700 W、電極 I I に印加する高周波電力（100 MHz）400 W、プロセス圧力 40 mTorr、電極間隔 10 mm、プロセスガス比 C_4F_8 : 5%、CO : 15%、Ar : 78%、 O_2 : 2% である
25 がこれらの条件はこれに限定されるものではない。

実験結果を図 57 に示す。（▲、△は、ウェハ中心のエッチングレートを示し、また■、□は、ウェハの端でのエッチングレートを示す。）この結果より、以下のことが明らかとなった。

（1）本発明の排気システムを採用した場合、従来の排気システムより高いエ

ッチングレート及び均一性が得られている事が分かる。

また、上記基体としてSiウェハ上にBP SG膜の代わりに他絶縁膜SiO₂、P-TEOS、SiN、SiOもしくは金属膜であるPoly-Si、Si、Alを成膜した基体に関しても上記と同様の効果が得られたことが
5 確認された。

続いて、上記基体として直径200mmのSiウェハ上にBP SGを1.5μm程度成膜し、その上にレジストと呼ばれるマスク材0.7μmを塗布し、露光、現像のプロセスを経て、前記マスク材に直径0.18μmのホールパターンを形成した。その前記基体を前記実験と同様の条件でエッチングし、エッチング
10 後のホール形状を観察した。この結果より、以下のことが明らかとなった。

(2) 排気速度の向上および、プロセスガス流量の増大により、ホール内に付着する反応副生成物が効率よく排気されているため、良好なホール形状が得られた。従来の排気システムではテーパ角86°に対し、本発明の排気システムではテーパ角89°と理想的な形状となった。ここでテーパ角とは、Siウェハと
15 ホール側壁のなす角度のことをいう(図58参照)。

(実施例31)

本例では、本発明をマグネトロンスパッタリング装置に応用した場合の実施例を示すものである。

本装置の構成図は、前記図54と同様であるため省略する。尚、ここでのターゲットとは図54に記載のプラズマ処理される基体5404である。磁場の印加手段としては、複数の永久磁石を環状に並べたダイポールリングマグネット(以下DRM)を用いているがこれに限定されるわけではない。前記容器の内壁材料は可能な限り放出ガス(水分等)を放出しない材料とするため、ここではAlNとした。ただし、この材料に限定されるわけではない。前記電極Iに印加する高
20 周波電力の周波数43.0MHz、前記電極IIに印加する周波数13.56MHzとし、補助電極Bに印加する周波数を100MHzとした。それぞれの電極に印加する高周波の周波数は、上記値に限定されるものではないが補助電極Bに印加される高周波の周波数は、補助電極Bにかかるセルフバイアス電位を低くし、それ自身のスパッタを避けるようになるべく高く設定することが好まし

い。

上記装置の排気システムのみを変更し本発明に関わる排気システムの優位差を従来の排気システム（一方向からだけの排気方法、詳細には、図43（a）に記載の方法である）と比較した実験を行った。圧力10mTorr、キャリアガスとしてArを用い、プラズマを生成し、スパッタリングを行い、Alのターゲットの削れ量の分布を測定し、ターゲット付近に生成されているプラズマの状態を比較、検討した。成膜する基体としては単結晶Siウェハ（6インチ）を使用した。

その結果を図59に示す。この結果より以下のことが明らかとなった。

- 10 （1）ここでは前記容器内の圧力10mTorr時のガス流量1.5sccmまでガス流量を増加させて行くことにより、ターゲットの削れ量の面内均一性が向上する。これはターゲット付近の均一な排気速度およびガスフローが実現されているためと思われる。

- 15 ターゲットとしてここでは、Alのターゲットを用いたが、Cuでも同様の結果が確認された。

（実施例32）

本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体の表面を低温で酸化するためのプラズマ酸化装置に応用した場合を示す。

- 20 本装置構成図は、前記図53と同様であるため省略する。

ここでは前記基体としてSiウェハを用い、Siウェハ表面をO₂で直接酸化し、ゲート酸化膜を形成した場合について説明する。原料ガスはAr及びO₂を用いている。キャリアガスとしてArの代わりにXeを用いても構わない。また、ArとO₂からなる混合ガスに、Heなどを加えてもよい。

- 25 図60は、本例で作製した素子の断面図と、素子の絶縁耐圧の測定系とを合わせて示した模式図である。図60において、絶縁耐圧の測定をした素子は、n型Siウェハからなる前記基体4001、フィールド酸化膜4002、ゲート酸化膜4003、ゲート電極4004から構成される。また、4005は絶縁耐圧の測定に用いた探針、4006は電圧計、4007は電圧印加手段、4008は電

流計である。

図60に示す素子の形成および絶縁耐圧の測定は、次に示す手順で行った。

n型Siウェハ4001上に、SiO₂からなるフィールド酸化膜4002（厚さ：800nm）を熱酸化法〔（H₂+O₂）ガス、H₂=1l/min、O₂=1l/min、被処理体の温度=1000℃〕で形成後、フィールド酸化膜4002の一部をウェットエッチング処理し、n型Siウェハ4001の表面を露出させた。

n型Siウェハ4001の露出させた表面のみ、本発明に係るプラズマ装置を用いて直接酸化させ、SiO₂からなるゲート酸化膜4003（面積=1.0×10⁻⁴cm²、厚さ=7.6nm）を形成した。その際の成膜条件は、成膜ガスは（Ar+O₂）、ガス圧は30mTorr、分圧比はAr：O₂=98%：2%、マイクロ波パワーは700W、酸化処理時間は20分、前記基体は電氣的にフローティング状態に保持、被処理体の温度は430℃とした。但し、成膜条件はこれに限定されるものではない。

フィールド酸化膜4002およびゲート酸化膜4003の上に、Alからなるゲート電極4004（厚さ=1000nm）を蒸着法で形成した。

探針4005をゲート電極4004に接触させ、ゲート電極4004を介して直流電圧をn型Siウェハからなる被処理体4001に印加し、ゲート酸化膜4003が絶縁破壊する電圧（すなわち絶縁耐圧）を電圧計4006で測定した。

図61は絶縁耐圧の測定結果を示すグラフである。図61（a）は本発明に係る装置でゲート絶縁膜を作製した場合を示す。一方、図61（b）は従来の装置でゲート絶縁膜を作製した場合である。

ここで、図62に従来の排気システムを付設したラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置の平面図を示す。本発明の排気システムを用いた装置と違う点は、排気システムのみである。本発明の排気システムは真空ポンプの上部に比較的広い空間が設けてあり、前記基体側部に略々等間隔に並べられた複数の真空ポンプから排気すると、ガスのコンダクタンスをほとんど低下させることなく回転方向に均一な基体上のガス流を実現することができる。すなわち、真空

ポンプの許容値近くまで多量のガスを流すことができるようになり、大口径基体の超高速プロセスに対応することが可能となる。反して、従来の排気システムは、一方向からだけの真空ポンプ 2001 の排気により、真空ポンプの上部の空間が狭く、ガスのコンダクタンスが低下し、均一な基体上のガス流を実現することができない。このため多量のガスを流すことができず、大口径基体の高速プロセスには対応不可能である。

図 6 1 において、横軸は絶縁耐圧、縦軸は各絶縁耐圧が得られた素子の頻度を示す。例えば、横軸 10 MV/cm の棒グラフは、絶縁耐圧が $9.5 \sim 10.4 \text{ MV/cm}$ の範囲にある素子の発生頻度である。測定した素子数は、図 6 1 (a)、図 6 1 (b) それぞれ 30 個である。図 6 1 から以下に示す点が明らかとなった。

従来の排気システムを備えた装置で作製した素子は、絶縁耐圧の分布が広く（すなわち膜質の均一性が悪く）かつ平均耐圧は 10.3 MV/cm であった [図 6 1 (b)]。

本発明の装置で作製した素子は、絶縁耐圧の分布が狭く（すなわち膜質の均一性が良く）かつ 11.5 MV/cm の高い平均耐圧が得られることから、ゲート酸化膜の膜質が向上したことがわかった [図 6 1 (a)]。

図 6 3 は Si 酸化膜のウェハ面内の膜厚分布を示すグラフである。横軸はウェハ中心からの距離を示し、縦軸は直接酸化膜の膜厚を示している。従来の排気システムを備えた装置で成膜した直接酸化膜の膜厚は、均一性が低い。それに対し本発明の装置で成膜した直接酸化膜の膜厚はウェハ面内でほとんど一定であり、均一性が高いことがわかった。従って、本発明に係るプラズマ装置を用いて直接酸化を行うことにより、高い均一性と高い耐圧とを有する酸化膜が形成できるため、優れた絶縁耐圧を有する素子が安定して作製できることが確認された。

また本例では、本発明の装置を、前記基体の Si 表面を低温で酸化するためのプラズマ酸化装置に応用したが、Si 表面に限らず、金属表面に応用しても均一性の高い酸化膜が得られることが確認された。

(実施例 33)

本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロッ

トアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体の表面を低温で窒化するためのプラズマ窒化装置に応用した場合を示す。

本装置の構成並びに従来の排気システムを付設したラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置については、実施例3と同様であるため省略する。実

- 5 施例3と同様ここでは前記基体としてSiウェハを用い、Siウェハ表面を N_2 で直接窒化し、ゲート窒化膜を形成した場合について説明する。

原料ガスはAr及び N_2 を用いている。キャリアガスとしてArの代わりにXeを用いても構わない。また、Arと N_2 からなる混合ガスに、He、Neなどを加えてもよい。また、 N_2 の代わりに NH_3 を用いてもよい。

- 10 図64は、本例で作成した素子の断面図と、素子の絶縁破壊注入電荷量の測定系とを合わせて示した模式図である。図64において、絶縁破壊注入電荷量の測定をした素子は、n型Siウェハからなる被処理体5001、フィールド酸化膜5002、ゲート窒化膜5003、ゲート電極5004から構成される。また、5005は絶縁破壊注入電荷量の測定に用いた探針、5006は電圧計、
- 15 5007は定電流源、5008は電流計である。図64に示す素子の形成および絶縁破壊注入電荷量の測定は、次に示す手順で行った。

- n型Siウェハ5001上に、 SiO_2 からなるフィールド酸化膜5002（厚さ：800nm）を熱酸化法〔 (H_2+O_2) ガス、 $H_2=1l/min$ 、 $O_2=1l/min$ 、被処理体の温度=1000℃〕で形成後、フィールド酸化膜
- 20 5002の一部をウェットエッチング処理し、n型Siウェハ5001の表面を露出させた。

- n型Siウェハ5001の露出させた表面のみ、本発明に係るプラズマ装置を用いて直接窒化させ、 Si_3N_4 からなるゲート窒化膜5003（面積=1.0×10⁻⁴cm²、厚さ=5.6nm）を形成した。その際の成膜条件は、成膜
- 25 ガスは（Ar+N₂）、ガス圧は30mTorr、分圧比はAr:N₂=99.7%：0.3%、マイクロ波パワーは700W、窒化処理時間は20分、被処理体は電氣的にフローティング状態に保持、被処理体の温度は430℃、とした。但し、成膜条件はこれに限定されるわけではない。

フィールド酸化膜5002およびゲート窒化膜5003の上に、Alからなる

ゲート電極5004（厚さ＝1000nm）を蒸着法で形成した。
探針5005をゲート電極5004に接触させ、ゲート電極5004を介して定
電流源5007より、電流密度が $100\text{mA}/\text{cm}^2$ となるように、一定電流を
n型Siウェハからなる前記基体5001に印加し、ゲート窒化膜5003が絶
縁破壊する時間を測定した。電流密度値にこの時間をかけたものが絶縁破壊注入
5 電荷量である。

図65は絶縁破壊注入電荷量の測定結果を示すグラフである。

図65において、横軸は注入電荷量、縦軸は各注入電荷量が得られた素子の累
積頻度を示す。測定した素子数は、従来の方式、本発明それぞれ20個である。

10 図65から以下に示す点が明らかとなった。

従来の装置で作製した素子は、注入電荷量の分布が広く（すなわち膜質の均一
性が悪く）かつ平均電荷注入量は $59.3\text{C}/\text{cm}^2$ であった。

本発明の装置で作製した素子は、注入電荷量の分布が狭く（すなわち膜質の均
一性が良く）かつ $572\text{C}/\text{cm}^2$ の高い平均電荷注入量が得られることから、

15 ゲート窒化膜の膜質が向上したことがわかった。

図66は直接窒化膜のウェハ面内の膜厚分布を示すグラフである。横軸はウェ
ハ面内の中心からの距離を示し、縦軸は直接窒化膜の膜厚を示している。従来の
排気システムを備えた装置で成膜した直接窒化膜の膜厚は、均一性が低い。それ
に対し本発明の装置で成膜した直接窒化膜の膜厚はウェハ面内でほとんど一定で

20 あり、均一性が高いことがわかった。

図67は直接窒化膜のバリア性の測定結果を示すグラフである。従来の排気シ
ステムを備えた装置と本発明の排気システムを備えた本装置で直接窒化したSi
ウェハを、 600°C 、 $100\%\text{O}_2$ 雰囲気中に1時間から5時間晒した後、X線
光電子分光装置で測定した。図67において、横軸は直接窒化したSiウェハ
25 を上記の O_2 雰囲気に晒した時間、縦軸は直接窒化したSi表面が酸化されケ
ミカルシフトした SiO_2 のピークの面積を表している。図から以下に示す点が
明らかとなった。

従来の装置で直接窒化したSiウェハ表面では、時間とともにピーク面積が増
加し、 O_2 雰囲気で時間とともに酸化されている。このことから従来の装置で成

膜した直接窒化膜は酸素に対するバリア性が低いことがわかった。

本発明の装置で直接窒化したSiウェハ表面では、ピーク面積は時間とともにほとんど増加せず、 O_2 雰囲気ではほとんど酸化されていない。このことから本発明の装置で成膜した直接窒化膜は酸素に対するバリア性が高いことがわかった。

- 5 図68は成膜雰囲気から成膜された直接窒化膜中に含有される酸素及び炭素の量とプロセスガスの総流量との関係を示したものである。この図から以下に示す点が明らかになった。

- プロセスガスの総流量が多いほど、成膜された直接窒化膜中に含有される酸素および炭素の量は減少し、酸素および炭素汚染の少ない直接窒化膜が成膜可能となる。このことから本発明の装置は、大流量のガスを流しながら成膜する事が可能
- 10 なため、酸素および炭素汚染の少ない直接窒化膜を成膜するのに適している。

- 従って、本発明に係るプラズマプロセス装置を用いて直接窒化を行うことにより、膜中の不純物濃度を低く押さえ、高い膜質均一性と高い注入電荷量を有し、膜厚分布が均一で、かつ高いバリア性をもつ窒化膜が形成できるため、優れた特性を有する素子が安定して作製できることが確認された。
- 15

また本例では、本発明の装置を、前記基体のSi表面を低温で窒化するためのプラズマ窒化装置に応用したが、Si表面に限らず、Ta、W、Al、Tiなどの金属表面の窒化に応用しても均一性の高い金属窒化膜が得られることが確認された。

- 20 (実施例38)

本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体上にダイヤモンドを成膜するプラズマCVD装置に応用した場合を示す。

本装置の構成は実施例3と同様であるので省略する。

- 25 ダイヤモンド薄膜はその優れた機械的、熱的科学的、電気的、光学的特性を有し、さらに適当な不純物を添加することによって半導体特性を制御できることから注目されている。

本実施例では、ダイヤモンド薄膜を、ULSIシリコンの次世代の加工技術として期待されているX線リソグラフィに用いられる、マスクへの応用を目指した

成膜について述べる。

図69にX線リソグラフィ用マスクの構成の一例を示す。図の中央正方形部の吸収体には転写する回路パターンが形成される。基板側から平行光のX線が入射し、中央正方形部の、吸収体のない部分をX線が通過し、吸収体側に設置された、不図示の被パターン形成Siウエハに投影される。吸収体の支持層として使
5 われるダイヤモンド薄膜には、透明であること、表面が平滑であること、面内で均一な特性であることが要求される。

本実施例では、Siウエハ上へのダイヤモンド薄膜の成膜を実施した。以下に実施方法を述べる。

- 10 表面の汚染物（パーティクル、有機物、金属）と自然酸化膜を除去したSi基板をチャンバに導入する。ローディング後、ダイヤモンド薄膜を前記装置にて、
1～2μm程度成膜する。まずAr/H₂/CH₄もしくはAr/H₂/CO₂雰囲気
15 中でSi基板表面を炭化处理した後、Si基板を負にバイアスして、Si基板上にダイヤモンド結晶の核を生成させる。この処理の後、Ar/H₂/CH₄/
O₂もしくはAr/H₂/CO₂/O₂雰囲気中でダイヤモンド薄膜を1～2μm程
度成膜する。上記のArの代わりにXeを用いても良い。プロセス時のチャン
20 ーバー圧力は3～500mTorrであり、プロセスガス流量は、3SLMまで流
せることが可能であり、Siウエハは300～700℃に温度制御されている。
本装置では、大面積に高密度かつ均一なプラズマを生成でき、シャワープレート
25 を設けることにより原料ガスの供給の均一化を図り、大口径基板に均一に成膜で
きる。また、プロセス空間を狭くし、大流量のプロセスガスを均一かつ高速に排
気することで反応副生成物ガスの高速除去が可能となるため、均一に原子状水素
でエッチングされた非ダイヤモンド成分などの反応副生成物が高速に排気され、
高品質なダイヤモンドが生成できる。
- 25 Siウエハ上に成膜した厚さ2μmのダイヤモンド薄膜の評価結果を表2に示す。

(表2) ダイヤモンドの評価結果

膜厚、4インチ基板内(エリプソメトリ膜厚計)	$2.00 \pm 0.01 \mu\text{m}$
表面荒さ(原子間力顕微鏡)	5 nm
透過率(Si基板を除去した後に測定)	633 nmにて90%

- 5 透過率は、Siウェハの裏面(薄膜形成した表面と反対側)中央部をウェットエッチングにて除去し、ダイヤモンド薄膜を露出させた後に測定した。測定系を図70に示す。

図71にプロセスガスの総流量を変えた時の、表面荒さおよび透過率の変化を示す。従来技術では、プロセスガス総流量を上げられず、平坦なダイヤモンド薄膜が形成できないため、成膜後に機械研磨を行っていた。本発明に係るプラズマ装置を用いることによって、原子状水素でエッチングされた非ダイヤモンド成分などの反応副生成物が高速に排気され、高品質なダイヤモンドが生成できる。

10

(実施例39)

- 本例では、本発明をマグネトロンスパッタリング装置に応用した場合の実施例を示すものである。
- 15

本装置構成図は、実施例31と同様であるので省略する。アモルファス Ta_4B は実施例5で説明したようにX線リソグラフィ用マスクの吸収体材料として応用できる。実施例5で述べたように、まず平坦なダイヤモンド薄膜を成膜後、クラスタツールにより、クリーンルームの雰囲気は一切触れさせず、 Ta_4B を連続成膜した。

20

本クラスタツールの特徴は、各プロセスチャンバ間をArもしくは N_2 トンネルで接続することにより、ウェハ上の半導体、金属、絶縁体を大気に一切曝すことなく、高潔浄な雰囲気下で連続的に薄膜形成ができることにある。また、各プラズマチャンバーは、到達真空度 10^{-10} Torr台の超高真空を達成しているが、ウェハ搬送時は常に超高純度Arもしくは N_2 により数m Torr～数十Torrに保たれており、ウェハ表面への有機物・水分等の汚染を防止している。さらに、各クラスタ間は、 N_2 もしくは乾燥空気で密閉したポッドを用いた搬送を行い、また、ウェット洗浄・リソグラフィ工程も N_2 もしくは乾燥空気雰囲気中で行っており、大気からのあらゆる不純物要素を完全に排除したプロセスが

25

可能となっている。

本実施例では、S i ウェハ上およびS i ウェハ上ダイヤモンド薄膜上へのアモルファスT a₄Bの成膜を実施した。以下に実施方法を述べる。

5 表面の汚染物（パーティクル、有機物、金属）と自然酸化膜を除去したS i ウェハ上に成膜するか、もしくはダイヤモンドとの連続成膜により、T a₄Bを0.5～1 μm程度成膜する。尚、本装置の構成は図44と同様であるので省略する。

スパッタリングのターゲットには、原子数の比が4：1のタンタルとホウ素の化合物を用いた。A rもしくはX e雰囲気でスパッタリングを行う。このとき
10 のチャンバ圧力は3～500 mT o r rである。プロセスガス流量は、3 S L Mまで流すことが可能である。

S i ウェハ上およびS i ウェハ上の2 μmダイヤモンド薄膜上に成膜した厚さ1 μmのアモルファスT a₄B薄膜の評価結果を表3に示す。この結果より以下のことが明らかとなった。

15 （1）本発明に係るプラズマ装置を用いることで、大口径基板においても面内均一性が高い成膜が可能である。

（表3） アモルファスT a₄Bの評価結果

	S i 基板上	ダイヤモンド薄膜上
20 膜厚、4インチ基板内（段差膜厚計）	0 0 0 μm ±0.008 μm	0 0 0 μm ±0.021 μm
表面荒さ（原子間力顕微鏡）	1 n m	6 n m

（実施例40）

本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体上に多結晶シリコン薄膜を成膜するプラズマC V D装置に応用した場合を示す。
25

本装置の構成は実施例3と同様であるので省略する。

ガラス基板上に薄膜を成膜する場合について説明する。下地の基板としてはガラス基板に限定される訳ではなく、S i N_x、S i O₂等非結晶質の材料であれば

よい。多結晶シリコン薄膜の用途としてはトランジスタの能動層やゲート電極として使用可能である。原料ガスとして SiH_4 、 Xe を用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではない。 SiH_4 の代わりに Si_2H_6 等を、 Xe の代わりに Ar や H_2 等を用いてもよい。

- 5 Xe 、 SiH_4 のガス流量比を100 : 1となるように設定して実験を行った。

マイクロ波パワーは1600W、プロセスチャンバ内に導入するガスの総流量を300 sccmから3000 sccmまで変化させる。多結晶シリコンは300mmガラス基板上に成膜し、表面ラフネス、均一性及び多結晶シリコンの
10 結晶子サイズを測定した。基板温度は300℃に設定した。尚、ここに挙げたプロセス条件は本発明の効果を示すための一例であり、上記の値に限定されるものではない。

図72に、成膜された多結晶シリコン薄膜の表面粗さのトータルガス流量依存性を示す。測定は原子間力顕微鏡(AFM)で行った。トータルガス流量を増や
15 していくと表面ラフネスが低下していくことがわかる。

図73に、成膜された多結晶シリコン薄膜のガラス基板上での面内均一性のトータルガス流量依存性を示す。トータルガス流量の増加に伴い、面内均一性も向上していくことが分かる。

図74に、成膜された多結晶シリコン薄膜の結晶子サイズのトータルガス流量
20 依存性を示す。結晶子サイズの測定はX線薄膜法によりSiのピークの半値幅からシェラー法により計算して導出した。トータルガス流量の増加に従い、結晶子サイズも増大していくことがわかる。

図75に、成膜された多結晶シリコン薄膜の膜中水素量のトータルガス流量依存性を示す。膜中水素量の測定はFT-IRを用いて行い、相対値により示した。
25 トータルガス流量の増加に従い、反応副生成物の除去が促進され膜中水素量が減少していくことがわかる。

図76に、 Xe 、 SiH_4 のプロセスガスに PH_3 を加えてPドーピングした場合の、膜の比抵抗のトータルガス流量依存性を示す。 $\text{Xe} : \text{SiH}_4 : \text{PH}_3$ の流量比は100000 : 1000 : 1に固定して実験を行ったが、これらの値に限定

されるものではない。トータルガス流量の増加に従い、膜の比抵抗が小さくなりドーパントの活性化率が增大していくことがわかる。ドーパントのガスは PH_3 の他、 AsH_3 、 B_2H_6 等のドーパントの水素化物を加えることによってドーピングした場合についても上記と同様の結果が確認された。

- 5 以上説明したように、本発明により、大流量の均一排気が可能となったことにより、反応副生成物の除去が促進され面内均一性が向上し、表面ラフネスが小さく、かつ結晶子サイズの大きい良質な多結晶シリコン薄膜が形成できる。

(実施例41)

- 本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体上に Si_3N_4 薄膜を成膜するプラズマCVD装置に応用した場合について示す。
- 10 本装置の構成は実施例32と同様であるので省略する。

Si_3N_4 膜の用途としてはTFTなどのゲート絶縁膜、LOCOS用のマスク、パッシベーション膜等に使われる。

- 15 原料ガスとして SiH_4 、 Xe 、 N_2 を用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではない。 SiH_4 の代わりに Si_2H_6 等を、 Xe の代わりに Ar や H_2 等を、 N_2 の代わりに NH_3 等を用いることが可能である。 SiH_4 、 Xe 、 N_2 のガス流量比を1:100:5となるように設定する。マイクロ波パワーは1600W、プロセスチャンバ内の圧力は300mTorrに設定し、トータル
- 20 ガス流量を300sccmから3000sccmまで変化させる。 SiN_x 薄膜は300mmガラス基板上に成膜し、膜の均一性及び絶縁耐圧を測定した。基板温度は300℃に設定した。

尚、ここに挙げたプロセス条件は本発明の効果を示すための一例であり、上記の値に限定されるものではない。

- 25 図77に、成膜された Si_3N_4 薄膜のガラス基板上での面内均一性のトータルガス流量依存性を示す。トータルガス流量の増加に伴い、面内均一性も向上していくことが分かる。

図78に、成膜された Si_3N_4 薄膜の絶縁耐圧に対するトータルガス流量依存性を示す。絶縁耐圧は専用のTEGを作成して測定した。トータルガス流量の増

加に従い、絶縁耐圧も増大していくことがわかる。

- 図79に、成膜された Si_3N_4 薄膜のSiとNの組成比に対するトータルガス流量依存性を示す。測定はX線光電子分光法を用いて行った。トータルガス流量の増加に従い、反応副生成物の除去が促進され、 Si_3N_4 の原子組成としては
- 5 SiとNの組成比が3:4の理想的な値に近づくことが分かる。

以上説明したように、本発明により、大流量の均一排気が可能となったことにより、反応副生成物の除去が促進され面内均一性が向上し、絶縁耐圧の高い良質な SiN_x 薄膜が形成できた。

(実施例42)

- 10 本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体上にフロロカーボン系の低誘電率薄膜を成膜するプラズマCVD装置に応用した場合について示す。

本装置の構成は実施例32と同様であるので省略する。

- 15 フロロカーボン系の低誘電率薄膜は、半導体素子の配線間の層間絶縁膜として成膜する場合について説明する。

第1層目AlCu配線がパターン形成済みのウェハを、クラスタツールに導入する。本プロセスでは第2層目のAlCu膜を成膜するまでのすべての工程をクラスタツールで行う。本クラスタツールは、実施例6と同様であるので省略する。

20 る。

- ローディング後、まず第1層目配線表面をNe/F₂混合ガスを用いて、表面処理を行う。本マイクロ波装置内にNe/F₂ガスを導入し、チャンバー内でプラズマを発生し、約5分間ウェハ表面をプラズマにさらし、弗化处理を行う。引き続き、同一チャンバーにて、フロロカーボン系低誘電率膜をウェハ上に成膜する。
- 25 る。原料ガスとして C_4F_8 、 H_2 及びArを用いているが、これらの組み合わせに限定されるわけではない。 C_4F_8 の代わりに CF_4 等を、 H_2 の代わりに O_2 等を、Arの代わりにXe等を用いても構わない。 C_4F_8 、 H_2 及びArのガス流量比を1:1:5となる様に設定する。マイクロ波パワーは1600W、プロセスチャンバー内の圧力は10~200mTorrに設定し、トータルガス流量

を500 sccmから3000 sccmまで変化させる。300 mmのウェハ上に成膜し、デポジションレートとその均一性を測定した。ウェハ温度は250度に制御した。

尚、前記成膜条件については、この条件に限定されないのは言うまでもない。

- 5 図80に成膜されたフロロカーボン膜のデポジションレートのトータルガス流量依存性を示す。トータルガス流量を増加させていくと、反応副生成物の除去が促進され、デポジションレートが増加し、800 nm/min以上に達しているのがわかる。

- 10 また、図81にデポジションレートの面内均一性のトータルガス流量依存性を示す。プロセスガスの流量を十分に増やすことでウェハ面内均一性の改善がみられているのがわかる。

以上説明したように、本発明に係るプラズマ装置を用いることにより、高速かつ均一な膜の形成が大面積上で可能である。また、引き続き第二層配線の成膜をクラスターツール内で行えば、多層配線の半導体素子の製造が可能である。

- 15 (実施例43)

本例では、大流量のガスを均一に供給することが可能なラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置において、本装置を前記基体上にBST薄膜〔(Ba, Sr)TiO₃薄膜〕を成膜するプラズマCVD装置に応用した場合について示す。

- 20 本装置の構成は実施例32と同様であるので省略する。

尚、本プロセスはBST膜を半導体素子内のキャパシタの絶縁膜として使用するものとし、キャパシタ下部電極形成からキャパシタ上部電極形成までの工程の内、ウェット洗浄工程、リソグラフィ工程を除く全ての工程をクラスターツール内で行う。本クラスターツールの特徴は、実施例6と同様であるので省略する。

- 25 まず、基板をクラスターツール内にローディングし、poly-Siの下部電極を形成する。さらに、Ru/RuO_x層を成膜する。引き続き、BST膜の成膜を行う。

本例では原料ガスとしてBa(DPM)₂、Sr(DPM)₂、Ti(IOC₃H₇)₄、O₂及びArを用いたがこれらの組み合わせに限定されるわけでは

なく、Arの代わりにXe等を用いても構わない。ガス導入口よりArをキャリアガスとして、Ba(DPM)₂、Sr(DPM)₂、Ti(I-OC₃H₇)₄より、プロセスガスを装置内に導入する。さらに、ArとO₂を添加ガスとして、1:2の割合でプロセスチャンバー内に導入する。マイクロ波パワーは
5 1600W、プロセスチャンバー内の圧力は10~200mTorrに設定し、添加ガス流量を500sccmから3000sccmまで変化させる。その際、添加ガスのみ流量を変化させ、Ba(DPM)₂、Sr(DPM)₂、Ti(I-OC₃H₇)₄の供給条件は変化させずにおこなった。300mmウェハ上に成膜し、デポジションレートとその均一性を測定した。なお、前記成膜条件について
10 は、この条件に限定されないのは言うまでもない。

図82に成膜されたBST膜のデポジションレートの添加ガス流量依存性を示す。添加ガス流量を増加させていくと、デポジションレートは減少する傾向にある。一方、図83にデポジションレートの面内均一性の添加ガス流量依存性を示す。プロセスガスの流量を十分に増やすことで均一性の改善がみられ、
15 300mm基板で面内±2%以下を達成しているのがわかる。

以上説明したように、本発明に係るプラズマ装置を用いることにより、均一かつ良質な膜の形成が大面積上で可能である。また、BST成膜後、上部電極としてTiNを成膜すれば半導体素子に用いるキャパシタ構造が形成可能である。

本実施例ではキャパシタ下部、上部電極及びスタック電極として、それぞれ
20 poly-Si、TiN、Ru/RuO_xを用いているが、Pt、Ta、W、Mo、Rh、In、InO_x、Ti、TiSi_xなどを使用する場合においても、本発明は適用可能であるのは言うまでもない。本実施例ではキャパシタ絶縁膜として、それぞれBST膜を用いているが、PZT、SrTiO₃などを使用する場合においても、本実施例と同様な効果があるのは言うまでもない。

25 (実施例44)

図84に本発明を用いて製作したデバイスの断面図を示す。

本プロセスでは、以下のプロセスのうちウェット洗浄・リソグラフィ工程を除く全ての工程をクラスツールで行った。

クラスツールの一部を図85に示す。本クラスツールの特徴は、各プロセ

- スチャンバ間をArもしくはN₂トンネルで接続することにより、基板上の半導体、金属、絶縁体を大気に一切曝すことなく、高清浄な雰囲気下で連続的に薄膜形成ができることにある。また、各プラズマチャンバーは、到達真空度10⁻¹⁰Torr台の超高真空を達成しているが、ウェハ搬送時は常に超高純度ArもしくはN₂により数mTorr～数十Torrに保たれており、ウェハ表面への有機物・水分等の汚染を防止している。さらに、各クラスタ間は、N₂もしくは乾燥空気で密閉したポッドを用いた搬送を行い、また、ウェット洗浄・リソグラフィ工程もN₂もしくは乾燥空気 雰囲気中で行っており、大気からのあらゆる不純物要素を完全に排除したプロセスが可能となっている。
- 10 表面近傍の酸化膜が除去されたSOIウェハをクラスタツール6101にローディングする。ローディング後、Ta薄膜を前記図54に示した本発明に関わる均一水平磁場を用いたプラズマプロセス装置において、1～50nm程度成膜する。このとき、ウェハ全面に均一に印可した高周波を制御することにより、イオン照射エネルギーを制御し、希望する膜質のTaを得ることが可能である。次に
- 15 前記図53に示した本発明に係るラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマプロセス装置に導入し、Ar/He/O₂、Xe/O₂もしくはXe/He/O₂雰囲気中でプラズマ酸化を行い、前工程で成膜したTaのみを全て酸化し、タンタルオキサイド薄膜6001を得る。プラズマ酸化時の圧力は、3～500mTorrであり、ウェハは300～550℃に温度制御されている。
- 20 さらに前記図54に示した本発明に係わる均一水平磁場を用いたプラズマプロセス装置にて、ゲート電極となるTa薄膜6002を0.1～2μm程度成膜する。連続して、前記図53に示した本発明に係るラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマプロセス装置によりCVD NSGを1～50nm程度成膜する。このキャップ工程により、タンタルオキサイドをゲート側面のみに選択的に形成することが可能になり、ゲート電極上コンタクトホール形成時のエッチングプロセスを容易に、かつ高選択比で行うことが可能となる。

つぎに、前記図44に示した本発明に係る均一水平磁場を用いたプラズマプロセス装置を用い、ゲートエッチングを行う。この工程よりバリアメタル形成にかけてのプロセスの詳細図を図85に示す。本装置を用いることで、大口径基板

にもかかわらず面内均一性が高く、微細加工が可能となっている。自己整合的に
高潔イオン注入を行い、450～550℃のアクティベーションアニールを経
て、ソースドレイン6003形成を行う(a)。サイドウォール6004形成工
程として、前記図53に示した本発明に係るラジアルラインスロットアンテナを
5 用いたプラズマプロセス装置により、先ほどと同様に酸化を行う(b)。

ウェットエッチングによりSi表面のSiO₂を除去した後、Taを2～
100nm程度成膜する(c)。Mixing I/Iにより表面のTaおよび
S/D部Siのアモルファス化およびミキシングを行った後、アニールによりタ
ンタルシリサイド6005を形成する(d)。この後、パターンニングを経て
10 (e)、前記図44に示した本発明に係る均一水平磁場を用いたプラズマプロセ
ス装置により、Taをエッチングした後(f)、キャップSiO₂をウェットエ
ッチにより除去する(g)。この後、バリアメタル形成6006を行う(h)。
前記図53に示した本発明に係るラジアルラインスロットアンテナを用いたプラ
ズマプロセス装置に導入し、N₂、Ar/N₂もしくはXe/N₂雰囲気中で窒化
15 を行う。膜厚は、10～500nm程度とした。プラズマ酸化時の圧力は、3～
500mTorrであり、ウエハは300～550℃に温度制御されている。

さらに、前記図53に示した本発明に係るラジアルラインスロットアンテナを
用いたプラズマプロセス装置を用いて、CVD NSG 6007を成膜し、
CMPにより平坦化、前記図44に示した本発明に係る均一水平磁場を用いたプ
ラズマプロセス装置を用いてコンタクトエッチングを行う。
20

また、キャパシタ形成は、下部Ta電極6008を0.1～2μm程度成膜し
たのち、表層を5～500nm酸化、タンタルオキサイド6009を形成し、さ
らに上部Ta電極6010を0.1～2μm程度成膜することで形成する。これ
らのプロセスも本発明に係る均一水平磁場を利用したプラズマプロセス装置およ
びラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマプロセス装置において行
う。
25

これらの素子を形成した後、Cu配線6011形成を行い、デバイスを完成さ
せる。配線間のバリアメタルとしてTa窒化物を用いる場合は、ゲート電極上の
バリアメタル形成工程に準ずる。

このようにして形成したタンタルオキサイドゲート絶縁膜MOSFET・タンタルオキサイドキャパシタを電氣的に評価した。

図86にタンタルオキサイドゲート絶縁膜MOSFETのサブスレッシュョルド係数の分散を示す。ゲート絶縁膜形成のみを従来のプラズマ装置を用いたものは、サブスレッシュョルド係数が大きく分散しているが、本発明においては、高い均一性が実現されている。

バリアメタルであるタンタル窒化物形成プロセスを従来のプラズマ装置を用いて行った場合のMOSFETの初期破壊率、さらには本発明を用いた例と大気中で700℃24時間の加熱試験を行った後のサンプルの初期破壊率を図87に示す。従来技術では、ウエハエッジ部において初期破壊率が低い、これは配線材料として用いたCuが、不完全なタンタル窒化物中を拡散したことによる。本発明においては、ウエハ全面で低い破壊率を実現している。

図88にタンタルオキサイドキャパシタの容量の面内均一性を示す。従来技術においては、半径方向に膜厚の増加傾向が見られるが、本発明においては全面的に均一な容量が得られている。

本実施例において、スターティングウエハとしてSOIウエハを用いているが、Siウエハ・Siエピタキシャルウエハ・金属基板SOIウエハ・GaAsウエハ・ダイヤモンドウエハ、また、石英・ガラス・セラミック・プラスチック等の表面にSi・エピタキシャルSi・GaAs・ダイヤモンド薄膜を形成した基体などを用いても本実施例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、MOSFETのゲート電極としてTaを用いているが、n⁺ポリシリコン・p⁺ポリシリコンなどを用いても本実施例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、酸化プロセスガスとしてAr・Xe・He等のキャリアガスとO₂の混合ガスを用いているが、その他のキャリアガスや酸化種(H₂O・NO_x等)との混合ガスを用いても本実施例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、窒化プロセスガスとしてAr・Xe等のキャリアガスとN₂の混合ガスを用いているが、その他のキャリアガスや酸化種(NH₃等)との

混合ガスを用いても本実施例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、キャパシタの上部電極・下部電極にTaを用いているが、
 $Pt \cdot Ru \cdot Ti \cdot W \cdot Mo \cdot RuO_x \cdot TaN_x \cdot TiN_x \cdot WN_x \cdot$
 $TaSi_xN_y \cdot TiSi_xN_y \cdot WSi_xN_y$ など、もしくはこれらのスタック電極

5 を用いても本実施例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、MOSFETのゲート絶縁膜・キャパシタの絶縁膜として
 タンタルオキシサイドのみを扱ったが、タンタルオキシサイドと $SiO_2 \cdot$
 $Si_3N_4 \cdot BST \cdot PZT$ などとのスタック絶縁膜を用いても本実施例と同様の
 結果が得られることは言うまでもない。

10 本実施例において、MOSFETのゲート加工のキャップ材料として
 SiO_2 を用いているが、 $Si \cdot Si_3N_4$ などの材料を用いても本実施例と同様の
 結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、MOSFETのゲートサイドウォール工程としてTaの酸
 化を行っているが、本工程を再酸化工程とし、新たにNSG等を用いてサイドウ

15 ォールを形成しても本実施例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例において、バリアメタルである TaN_x 形成をTaより行っているが、
 $TaSi_x$ を用いて $TaSi_xN_y$ を形成しても本実施例と同様の結果が得られる
 ことは言うまでもない。

本実施例において、バリアメタルとして TaN_x を用いているが、 $TiN_x \cdot$
 20 $WN_x \cdot TaSi_xN_y \cdot TiSi_xN_y \cdot WSi_xN_y$ などの材料を用いても本実施
 例と同様の結果が得られることは言うまでもない。

本実施例では、ロジック混載型のデバイスを製作したが、ロジックLSI・
 DRAM等、それぞれ独立に用いても本実施例と同様の結果が得られることは言
 うまでもない。

25 (実施例45)

図89は、ターボ分子ポンプの排気特性を示したものである。低圧力領域で
 220、540、及び1800 l/sec の排気速度を有するそれぞれのポンプ
 の排気特性と、220 l/sec の排気速度を有するポンプ4台で排気した場合
 の排気特性が示されている。排気速度が圧力によらず一定の場合、ポンプ入口圧

力と排気ガス流量は比例する。図より、高圧力領域では、圧力の増加とともに排気速度が低下することが分かる。また、排気速度の大きなポンプでは、排気速度の小さなポンプと比較して、より低圧力領域から排気速度が低下することが分かる。排気速度が 220 l/sec と小さなポンプにおいては、エッチングプロセスが行われる $20\sim30\text{ mTorr}$ の圧力領域では、排気速度の低下はほとんど見られない。すなわち、ポンプの排気特性を見ても、排気速度が大きく口径の大きな1台のポンプで排気するよりも、排気速度が小さく口径の小さな複数のポンプで排気した方が、通常の半導体プロセスが行われる圧力領域でより大流量のガスを流せるという点で有利である。

10 (実施例46)

図90～92は、本発明のプラズマ装置を、真空間搬送での連続プロセスを行うクラスターツールに利用した一例を示した平面図である。

図90は、4角形のプロセスチャンバと4角形のウェハ搬送チャンバみ合わせた場合である。9001はウェハ搬入チャンバ、9002はウェハ搬出チャンバ、9003はプロセスチャンバ1、9004はプロセスチャンバ2、9005はウェハ搬送チャンバ、9006はゲートバルブである。プロセスチャンバ1、及び2は、図44、48～54に記載のいずれかのチャンバである。例えば、プロセスチャンバ1はエッチングチャンバ、プロセスチャンバ2はレジストアッシングチャンバである。ウェハ搬送チャンバ9005内には1台、あるいは複数台のウェハ搬送ロボットが設置されており、プロセスチャンバとウェハ搬入／搬出チャンバとのウェハの受け渡しを行う。

図90の例では、小型のプロセスチャンバが効率的に配置されており、クリーンルームを占めるクラスターツールの占有面積が非常に小さい。直径 300 mm ウェハ用のクラスターツールの占有面積が、従来の直径 200 mm ウェハ用の最も小さなクラスターツールの占有面積よりも小さくすることが可能となる。図90の構成では、直径 300 mm ウェハ用のクラスターツールの占有面積は 3.64 mm^2 であり、従来の直径 200 mm ウェハ用の最も小さなクラスターツールの占有面積の約0.9倍となる。なお、ウェハ搬送チャンバに接続されるチャンバの数は、6個に限定されるものではない。

図91は、4角形のプロセスチャンバと6角形のウェハ搬送チャンバみ合わせた場合である。9101はウェハ搬入チャンバ、9102はウェハ搬出チャンバ、9103はプロセスチャンバ1、9104はプロセスチャンバ2、9105はウェハ搬送チャンバである。プロセスチャンバ1、及び2は、図44、46～54に記載のいずれかのチャンバである。例えば、プロセスチャンバ1はエッチングチャンバ、プロセスチャンバ2はレジストアッシングチャンバである。

ウェハ搬送チャンバ内にウェハ搬送ロボットを一台のみ設置すればよい場合、図90の場合よりもコストが安くなる。その反面、装置占有面積は図90の場合よりも多少大きくなる。図91の構成では、直径300mmウェハ用のクラスターツールの占有面積は 4.34mm^2 となる。これは、従来の直径200mmウェハ用の最も小さなクラスターツールの占有面積と同程度である。なお、ウェハ搬送チャンバは、6角形に限定されるものではないし、ウェハ搬送チャンバに接続されるチャンバの数も6個に限定されるものではない。

図92は、3角形のプロセスチャンバと6角形のウェハ搬送チャンバみ合わせた場合である。9201はウェハ搬入チャンバ、9202はウェハ搬出チャンバ、9203はプロセスチャンバ1、9204はプロセスチャンバ2、9205はウェハ搬送チャンバである。プロセスチャンバ1、及び2は、図45、48～54に記載のいずれかのチャンバである。例えば、プロセスチャンバ1はエッチングチャンバ、プロセスチャンバ2はレジストアッシングチャンバである。

真空ポンプの台数が少ないため、図90、91の場合よりもコストが安く、また、装置のメンテナンススペースを広くとることができる。その反面、装置占有面積は図91の場合よりも多少大きくなる。図92の構成では、直径300mmウェハ用のクラスターツールの占有面積は 4.94mm^2 となる。なお、ウェハ搬送チャンバは、6角形に限定されるものではないし、ウェハ搬送チャンバに接続されるチャンバの数も6個に限定されるものではない。なお、図90～92は2種類のプロセスチャンバを2個ずつ組み合わせた場合であるが、他の組み合わせであっても一向に構わない。

図93～95は、図90におけるウェハ搬送チャンバ内のウェハ搬送ロボットの配置を示したものである。図93において、9301はウェハ搬入チャンバ、

- 9302はウェハ搬出チャンバ、9303はプロセスチャンバ、9304はウェハ搬送チャンバ、9305はウェハ搬送ロボット、9306はウェハ退避ユニットである。ウェハ搬送ロボット9305aは、ウェハ搬入チャンバ9301、ウェハ搬出チャンバ9302とウェハ退避ユニット9306a間のウェハの受け渡しを行う。ウェハ搬送ロボット9305bは、プロセスチャンバ9303a, cとウェハ退避ユニット9303a, b間のウェハの受け渡しを行う。ウェハ退避ユニット9306は、一枚、あるいは複数枚のウェハを保持する機能を有する。ウェハ退避ユニットには、ウェハのオリフラやノッチの位置を合わせる機能や、ウェハの加熱、冷却等を行う機能を設けても良い。
- 10 図93の例では、ウェハ搬送ロボット間のウェハの受け渡しはウェハ退避ユニットを介して行うようになっているが、ウェハ退避ユニットを設置せずにウェハの受け渡しを直接行っても良い。図93の例では、ウェハ搬送ロボットが複数設置されているため、ウェハ搬入／搬出チャンバと各プロセスチャンバに対するウェハの出し入れが同時に行える。このため、ウェハ搬送に要する時間が短くてす
- 15 み、スループットが高い。
- 図94は、図93のウェハ搬送チャンバが複数のユニットで構成されたものである。9401はウェハ搬送チャンバ、9402はウェハ退避チャンバである。同型のウェハ搬送チャンバ9401やウェハ退避チャンバ9402の接続台数を変えることにより、プロセスチャンバの接続台数を任意に変えることができる。
- 20 また、任意のプロセスチャンバの台数に対して常にクラスターツールの占有面積を最小にすることができる。
- 図95において、9501はウェハ搬送ロボットである。ウェハ搬送ロボット9501は、図中の矢印の方向に移動することができ、一台でウェハ搬入／搬出チャンバと全てのプロセスチャンバに対するウェハの出し入れを行う。この例で
- 25 は、ウェハ搬送ロボットが一台で良いため、図93の場合よりもコストが安い。反面、ウェハ搬送に要する時間が長くなり、スループットが低下する可能性がある。

以上説明したように、本発明によれば、低温で高速に良質且つ均一な薄膜の形成を大面積上において可能なプラズマ装置が実現できる。

また、本発明に係る技術思想は、様々なプラズマプロセスを行うことが可能で、装置の汎用化を実現することができるため、その保守などのコストも大幅に削減することが実現可能となる。

10

15

20

25

請求の範囲

- (1) 内部が減圧可能であり、その一部がマイクロ波を略々損失なく透過できる材料からなる第1の誘電体板により構成されている容器と、
- 5 該容器内でプラズマを励起させるために必要な原料ガスを供給するガス供給システムと、
- 該容器内に供給された原料ガスを排気すると共に該容器内を減圧するための排気システムと、
- 該第1の誘電体板の外面に面して配置された、スロット板及び導波誘電体からなるマイクロ波を放射するためのアンテナと、
- 10 該容器の内側に配置された被処理体を保持するための電極と、
- を有し、
- 該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを略々平行に対向して配置して該被処理体に対してプラズマ処理をするプラズマ装置において、
- 15 前記第1の誘電体板以外の前記容器の壁部は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質からなる部材であるかもしくは該壁部の内側が該部材で被覆されており、
- かつ、
- 20 該部材の厚さを d 、該部材の導電率を σ 、真空の透磁率を μ_0 、該アンテナから放出するマイクロ波の角周波数を ω とした場合、
- 前記 d は、 $(2/\mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$ より大きいことを特徴とするプラズマ装置。
- (2) 前記第1の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には第1のOリングが配置され、
- 25 該第1の誘電体板の少なくとも該第1のOリングと接する面に、該第1のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として導電性材料からなる薄膜を設けたことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ装置。
- (3) 前記薄膜は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質から

なり、厚さ $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項2記載のプラズマ装置。

(4) 前記第1の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第1のOリングが配置され、

該第1のOリングの表面には、該第1のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として、導電性材料からなる薄膜をコートしたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(5) 前記金属薄膜は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質からなり、厚さ $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項4記載のプラズマ装置。

10 (6) 前記第1の誘電体板と前記被処理体を保持する電極との間に、所望のガスを略々均一に供給するためのガス導入口を備えた第2の誘電体板を設けたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(7) 前記第2の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第2のOリングが配置され、

15 該第2の誘電体板の少なくとも該第2のOリングと接する面には、該第2のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として導電性材料からなる薄膜を設けたことを特徴とする請求項6に記載のプラズマ装置。

(8) 前記第2の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能を有する第2のOリングが配置され、

該第2のOリングの表面には、該第2のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として、導電性材料からなる薄膜をコートしたことを特徴とする請求項6記載のプラズマ装置。

(9) 前記第1の誘電体板は、誘電損角 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下の材質からなることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(10) 前記第2の誘電体板は、誘電損角 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下の材質からなることを特徴とする請求項6記載のプラズマ装置。

(11) 前記アンテナと前記第1の誘電体板との間に空間を形成することを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(12) 前記アンテナと前記第1の誘電体板との間に形成された空間に、熱媒体を供給するラインを連通させたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(13) 前記アンテナに給電するマイクロ波の周波数が5.0GHz以上であり、かつ、前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1の距離が0.7mm以下であることを特徴とする請求項6記載のプラズマ装置。

(14) 前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1における圧力1が、前記被処理体を保持する電極が配置され、前記第2の誘電体板と前記第2の誘電体板以外の前記容器の壁部で囲まれた空間2における圧力2より高くなるように差圧を発生させる手段を設けたことを特徴とする請求項6記載のプラズマ装置。

(15) (15) 前記第2の誘電体板と前記第2の誘電体板以外の前記容器の壁部で囲まれた空間2内に熱媒体を導入するための手段を接続したことを特徴とする請求項6記載のプラズマ装置。

(16) 前記アンテナは、マイクロ波の放射面として機能するスロット板と、該スロット板を貫通する穴部（以下、スロットと呼ぶ）を複数個配置してなるスロットの群を備えており、

前記空間2で発生させたプラズマの密度が局所的に他の部分より高い部分に位置する該スロットを、他の部分より小径とするか、遮蔽板により遮蔽するか。または設置しないことを特徴とする請求項14記載のプラズマ装置。

(17) 前記アンテナを冷却するための手段6を設けたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(18) 前記アンテナガイドに通路を形成し、該通路に熱媒体を供給するラインを連通させたことを特徴とする請求項17記載のプラズマ装置。

(19) 前記第1の誘電体板を冷却するための手段7を設けたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(20) 前記スロット板の湾曲を防止する手段8を備えたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(21) 前記アンテナと前記第1の誘電体板との間に空間を形成し、該空間に

該スロット板の湾曲を防止するための手段として弾性材からなる板を介在せしめたことを特徴とする請求項20記載のプラズマ装置。

(22) 前記空間2に発生したプラズマの有無を検知する手段9を備えたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

- 5 (23) 前記容器内部において容器壁面および前記被処理体以外の部分の温度をそれぞれ150℃以上まで上昇させるための機構を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

- (24) 前記排気システムは、該排気システムを構成する全てのユニット内の温度を150℃以上まで上昇させるための機構を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(25) 前記被処理体の保持機能を有する電極が、前記被処理体を加熱する機構を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(26) 前記被処理体を加熱する機構として、キセノンランプを用いたことを特徴とする請求項25記載のプラズマ装置。

- 15 (27) 前記排気システムの下流にフロロカーボン系ガスの回収・再利用を行う機構を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(28) 前記容器の内壁表面に AlF_3 と MgF_2 からなる層が形成されていることを特徴とする請求項1乃至20のいずれか1項に記載のプラズマ装置。

- (29) 前記被処理体の保持機能を有する電極が、直流バイアス又は／及び交流バイアスの印加手段を備えたことを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(30) 前記プラズマプロセス装置は被処理体の表面をエッチング処理するための装置であることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(31) 前記プラズマプロセス装置は、被処理体の表面を直接酸化させるための装置であることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

- 25 (32) 前記プラズマプロセス装置は、前記被処理体の表面を直接窒化させるための装置であることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(33) 前記プラズマプロセス装置は、前記被処理体上に薄膜を堆積させるための装置であることを特徴とする請求項1記載のプラズマ装置。

(34) 内部が減圧可能であり、その一部がマイクロ波を略々損失なく透過で

きる材料からなる第1の誘電体板により構成されている容器と、該容器内でプラズマを励起させるために必要な原料ガスを供給するガス供給システムと、該容器内に供給された原料ガスを排気すると共に該容器内を減圧するための排気システムと、該第1の誘電体板の外面に面して配置された、スロット板及び導波誘電体
5 からなるマイクロ波を放射するためのアンテナと、該容器の内側に配置された被処理体を保持するための電極と、を有し、該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを略々平行に対向して配置して該被処理体に対してプラズマ処理をするプラズマ装置を用いたプラズマ処理方法において、

投入するマイクロ波のパワー密度を 1.2 W/cm^2 以上とすることを特徴とするプラズマ処理方法。
10

(35) 前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1における圧力1を、前記被処理体を保持する電極が配置され、前記第2の誘電体板と前記第2の誘電体板以外の前記容器の壁部で囲まれた空間2における圧力2より高くすることを特徴とする請求項34記載のプラズマ処理方法。

15 (36) 真空容器内に電極Iを備え、プラズマを用いて処理が行われる基体を前記電極Iと接するように載置しており、前記プラズマ中に磁場を印加する目的で前記真空容器外に磁場の印加手段I及びIIを備え、前記真空容器内に導入された気体の少なくとも一部が前記磁場の印加手段IとIIに挟まれた空間を通過して排気することを特徴とするプラズマ装置。

20 (37) 前記磁場の印加手段I、またはIIが、複数の永久磁石で構成された環状の磁石であることを特徴とする請求項36記載のプラズマ装置。

(38) 前記磁場が、前記基体のプラズマ処理が行われる面に対して略々水平でかつ略々一方向性を有することを特徴とする請求項36、または請求項37記載のプラズマ装置。

25 (39) 真空容器内に平行平板型の2つの電極I及びIIを備え、プラズマを用いて処理が行われる基体を前記電極IまたはIIと接するように載置しており、前記プラズマ中に磁場を印加する手段を有しており、前記電極IIは中央部と、前記電極Iに接続された高周波電源とは独立して制御できる高周波電源に接続された外周部とから構成されていることを特徴とするプラズマ装置。

(40) 前記電極 I I の中央部が、電氣的に接地されていることを特徴とする請求項 39 に記載のプラズマ装置。

(41) 前記磁場が、前記基体のプラズマ処理が行われる面に対して略々水平でかつ略々一方向性を有することを特徴とする請求項 39 または 40 に記載のプラズマ装置。

(42) 前記磁場が、前記真空容器外に備えられた複数の永久磁石で構成された環状の磁石によって印加されていることを特徴とする請求項 39、40 または 41 に記載のプラズマ装置。

(43) 前記磁場が、前記真空容器外に備えられた複数の永久磁石で構成された環状の磁石 I 及び I I によって印加され、前記真空容器内に導入された気体の少なくとも一部が前記磁石 I と I I に挟まれた空間を通して排気することを特徴とする請求項 39、40 または 41 に記載のプラズマ装置。

(44) 前記真空容器内に導入された気体の少なくとも一部が、前記基体の周辺に前記基体の中央を通り前記基体面に垂直な軸に対し略々軸対称な位置に配置された 3 個以上の略々断面積が等しい排気口から排気されることを特徴とする請求項 36～43 に記載のプラズマ装置。

(45) 真空容器内に電極を備え、プラズマを用いて処理が行われる基体を前記電極と接するように載置しており、前記真空容器内に導入された気体の少なくとも一部が、前記基体の周辺に前記基体の中央を通り前記基体面に垂直な軸に対し略々軸対称な位置に配置された 3 個以上の略々断面積が等しい排気口から排気されることを特徴とするプラズマ装置。

(46) 各々の排気口には真空ポンプが接続されていることを特徴とする請求項 44、45 に記載のプラズマ装置。

(47) 基板上方の成膜空間の側方に、真空ポンプの吸引口に直結して形成された排気空間を設けたことを特徴とするプラズマ装置。

(48) 前記排気空間の横幅は、成膜空間の高さの 2 倍以上であることを特徴とする請求項 47 に記載のプラズマ装置。

(49) 吸引口の面積が略々同じである真空ポンプを 2 個以上、基板の略々中心点に関して対称的な位置に配置されていることを特徴とする請求項 47 に記載の

プラズマ装置。

(50) 前記成膜空間は、真空ポンプの吸引口の上部、下部または側部に位置していることを特徴とする請求項47記載のプラズマ装置。

(51) 内部が減圧可能であり、その一部がマイクロ波を略々損失なく透過できる材料からなる第1の誘電体板により構成されている容器と、

該容器内でプラズマを励起させるために必要な原料ガスを供給するガス供給システムと、

該容器内に供給された原料ガスを排気すると共に該容器内を減圧するための排気システムと、

10 該第1の誘電体板の外面に面して配置された、スロット板及び導波誘電体からなるマイクロ波を放射するためのアンテナと、

該容器の内側に配置された被処理体を保持するための電極と、
を有し、

該アンテナのマイクロ波の放射面と該被処理体のプラズマ処理を行う面とを
15 略々平行に対向して配置して該被処理体に対してプラズマ処理をするプラズマ装置において、

基板上方の成膜空間の側方に、真空ポンプの吸引口に直結して形成された排気空間を設けたことを特徴とするとプラズマ装置。

(52) 前記排気空間の横幅は、成膜空間の高さの2倍以上であることを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(53) 前記第1の誘電体板以外の前記容器の壁部は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質からなる部材であるかもしくは該壁部の内側が該部材で被覆されており、

かつ、

25 該部材の厚さを d 、該部材の導電率を σ 、真空の透磁率を μ_0 、該アンテナから放出するマイクロ波の角周波数を ω とした場合、

前記 d は、 $(2/\mu_0 \sigma \omega)^{1/2}$ より大きいことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(54) 前記第1の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には第1のOリン

グが配置され、

該第1の誘電体板の少なくとも該第1のOリングと接する面に、該第1のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として導電性材料からなる薄膜を設けたことを特徴とする請求項51に記載のプラズ

5 マ装置。

(55) 前記薄膜は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質からなり、厚さ10 μm 以上であることを特徴とする請求項54記載のプラズマ装置。

(56) 前記第1の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能
10 能を有する第1のOリングが配置され、

該第1のOリングの表面には、該第1のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として、導電性材料からなる薄膜をコートしたことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(57) 前記薄膜は、 $3.7 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 以上の導電率を有する材質から
15 なり、厚さ10 μm 以上であることを特徴とする請求項56記載のプラズマ装置。

(58) 前記第1の誘電体板と前記被処理体を保持する電極との間に、所望のガスを略々均一に供給するためのガス導入口を備えた第2の誘電体板を設けたことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(59) 前記第2の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能
20 能を有する第2のOリングが配置され、

該第2の誘電体板の少なくとも該第2のOリングと接する面には、該第2のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として導電性材料からなる薄膜を設けたことを特徴とする請求項58記載のプラズ
25 マ装置。

(60) 前記第2の誘電体板の内面と前記容器の壁部との間には真空シール機能
能を有する第2のOリングが配置され、

該第2のOリングの表面には、該第2のOリングが前記アンテナから放射されたマイクロ波に直接曝されないような手段として、導電性材料からなる薄膜を

コートしたことを特徴とする請求項58記載のプラズマ装置。

(61) 前記第1の誘電体板は、誘電損角 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下の材質からなることを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

5 (62) 前記第2の誘電体板は、誘電損角 $\tan \delta$ が 10^{-3} 以下の材質からなることを特徴とする請求項58記載のプラズマ装置。

(63) 前記アンテナと前記第1の誘電体板との間に空間を形成することを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

10 (64) 前記アンテナと前記第1の誘電体板との間に形成された空間に、熱媒体を供給するラインを連通させたことを特徴とする請求項63記載のプラズマ装置。

(65) 前記アンテナに給電するマイクロ波の周波数が5.0GHz以上であり、かつ、前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1の距離が0.7mm以下であることを特徴とする請求項58記載のプラズマ装置。

15 (66) 前記第1の誘電体板と前記第2の誘電体板との間の空間1における圧力1が、前記被処理体を保持する電極が配置され、前記第2の誘電体板と前記第2の誘電体板以外の前記容器の壁部で囲まれた空間2における圧力2より高くなるように差圧を発生させる手段を設けたことを特徴とする請求項58記載のプラズマ装置。

20 (67) 前記第2の誘電体板と前記第2の誘電体板以外の前記容器の壁部で囲まれた空間2内に熱媒体を導入するための手段を接続したことを特徴とする請求項58記載のプラズマ装置。

(68) 前記アンテナは、マイクロ波の放射面として機能するスロット板と、該スロット板を貫通する穴部（以下、スロットと呼ぶ）を複数個配置してなるスロットの群を備えており、

25 前記空間2で発生させたプラズマの密度が局所的に他の部分より高い部分に位置する該スロットを、他の部分より小径とするか、遮蔽板により遮蔽するか。または設置しないことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(69) 前記アンテナを冷却するための手段を設けたことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(70) 前記アンテナガイドに通路を形成し、該通路に熱媒体を供給するラインを連通させたことを特徴とする請求項69記載のプラズマ装置。

(71) 前記第1の誘電体板を冷却するための手段7を設けたことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

5 (72) 前記スロット板の湾曲を防止する手段8を備えたことを特徴とする請求項51記載のプラズマ装置。

(73) 前記アンテナと前記第1の誘電体板との間に空間を形成し、該空間に該スロット板の湾曲を防止するための手段として弾性材からなる板を介在せしめたことを特徴とする請求項72記載のプラズマ装置。

10

15

20

25

Fig. 1

1/79

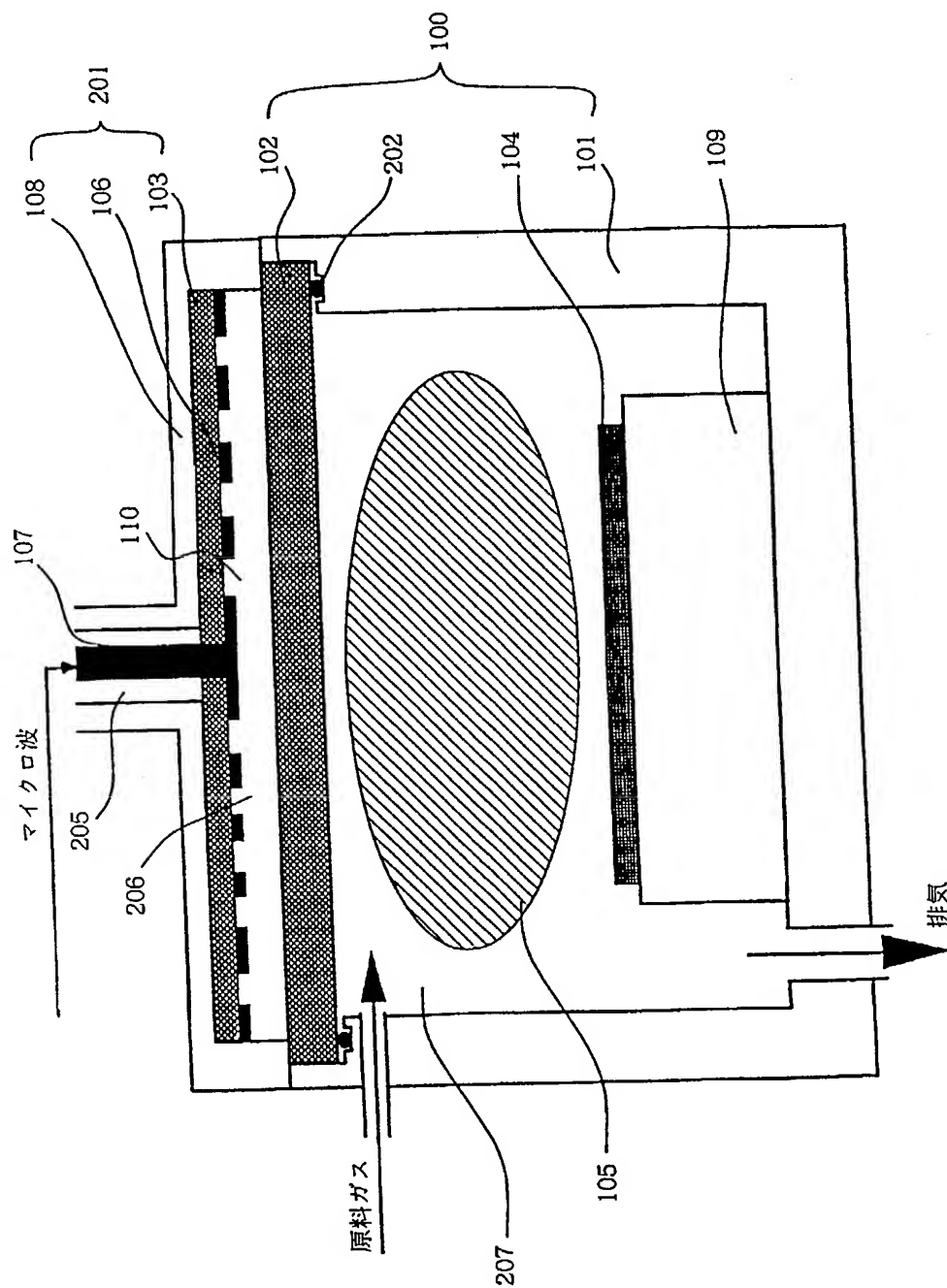


Fig. 2

2/79

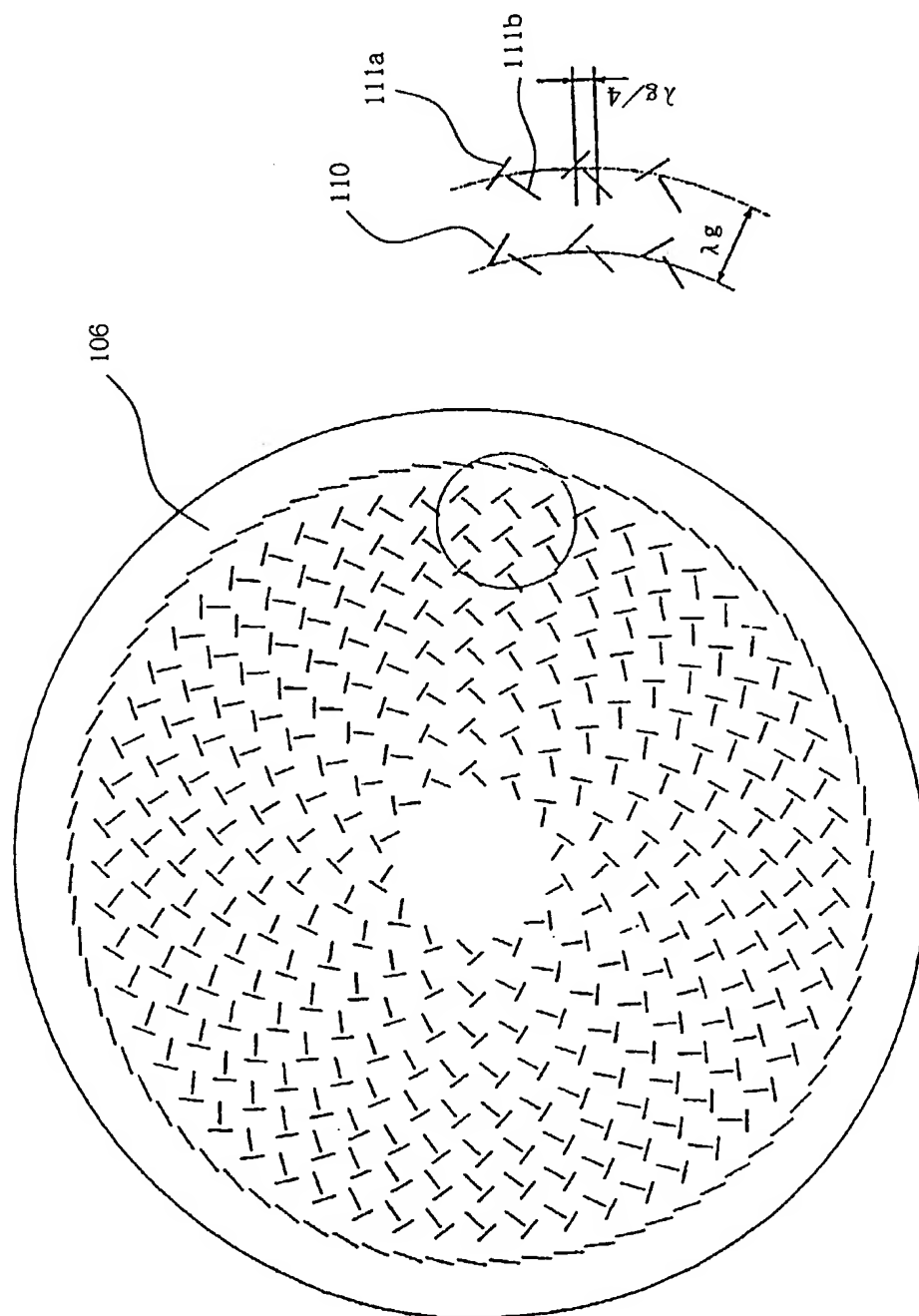


Fig. 3

3/79

マイクロ波パワー (W)	400	800	1200	1600
チャンバ材料及び内表面処理 導電率 ($\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)				
SUS (内表面処理無し) 1.4×10^8	×	×	×	×
Pb (SUS上への内表面処理) 4.8×10^8	×	×	×	△
Ta (SUS上への内表面処理) 8.0×10^8	×	×	○	○
W (SUS上への内表面処理) 1.7×10^7	×	○	○	○
Al (SUS上への内表面処理) 3.7×10^7	○	○	○	○
Au (SUS上への内表面処理) 4.3×10^7	○	○	○	○
Cu (SUS上への内表面処理) 6.0×10^7	○	○	○	○
Ag (SUS上への内表面処理) 6.3×10^7	○	○	○	○

○ プラズマ安定 △ プラズマ不安定 × プラズマ励起せず

内表面処理の厚さ: $10 \mu\text{m}$

F i g . 4

4/79

Al 薄膜の厚さ(μm) マイクロ波周波数による プラズマの生成状態	10.0	5.0	2.0	1.5	1.0	0.7	0.5	0.2	
2.45GHz	○	○	○	△	△	△	×	×	×
8.3GHz	○	○	○	○	○	○	×	×	×

マイクロ波 $\delta = (2/\mu\text{O}\sigma\omega)$ 1/2 から決まる表波深さ
 マイクロ波周波数 8.3GHz の場合 0.89 (μm)

マイクロ波 $\delta = (2/\mu\text{O}\sigma\omega)$ 1/2 から決まる表波深さ
 マイクロ波周波数 2.45GHz の場合 1.67 (μm)

Fig. 5

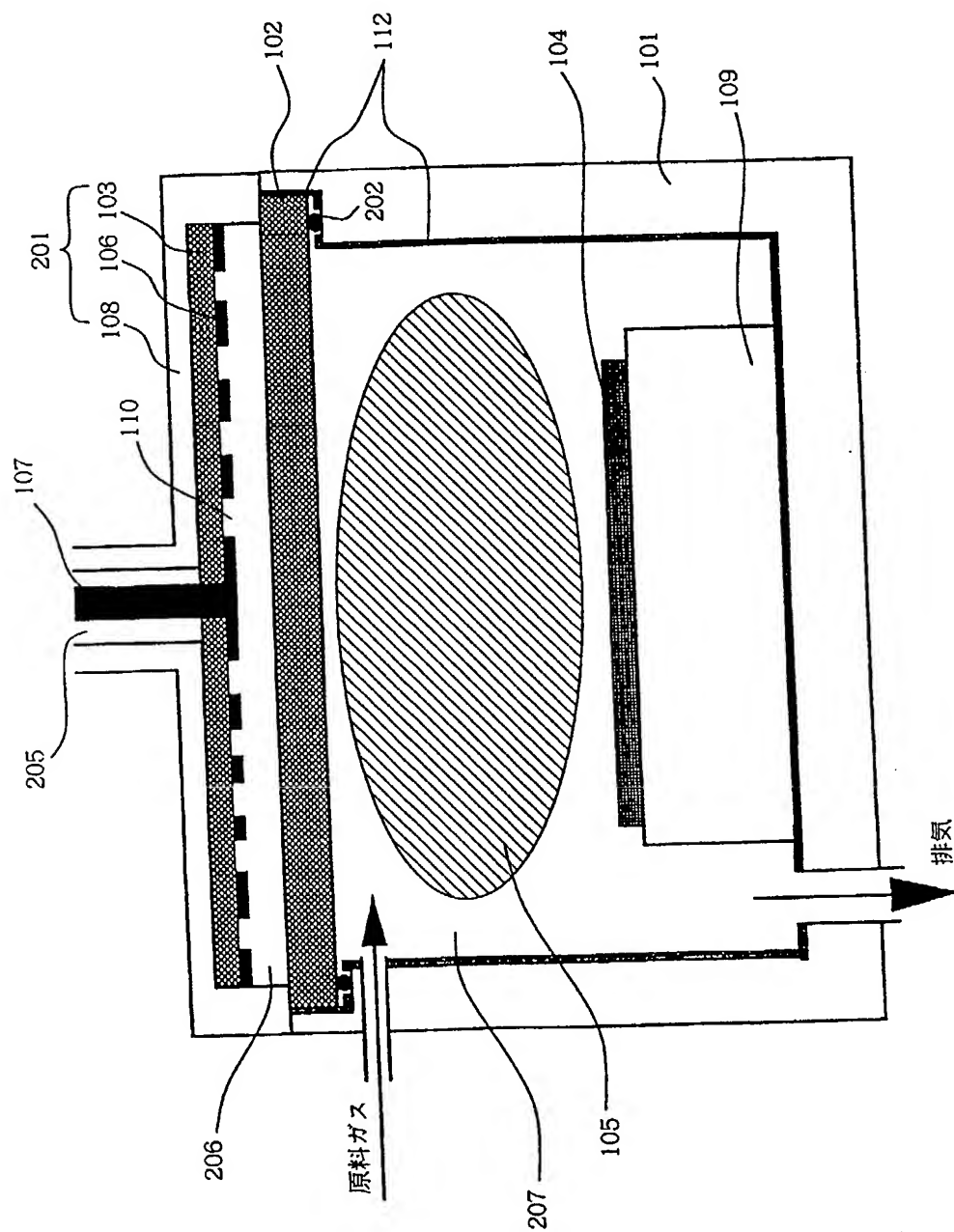
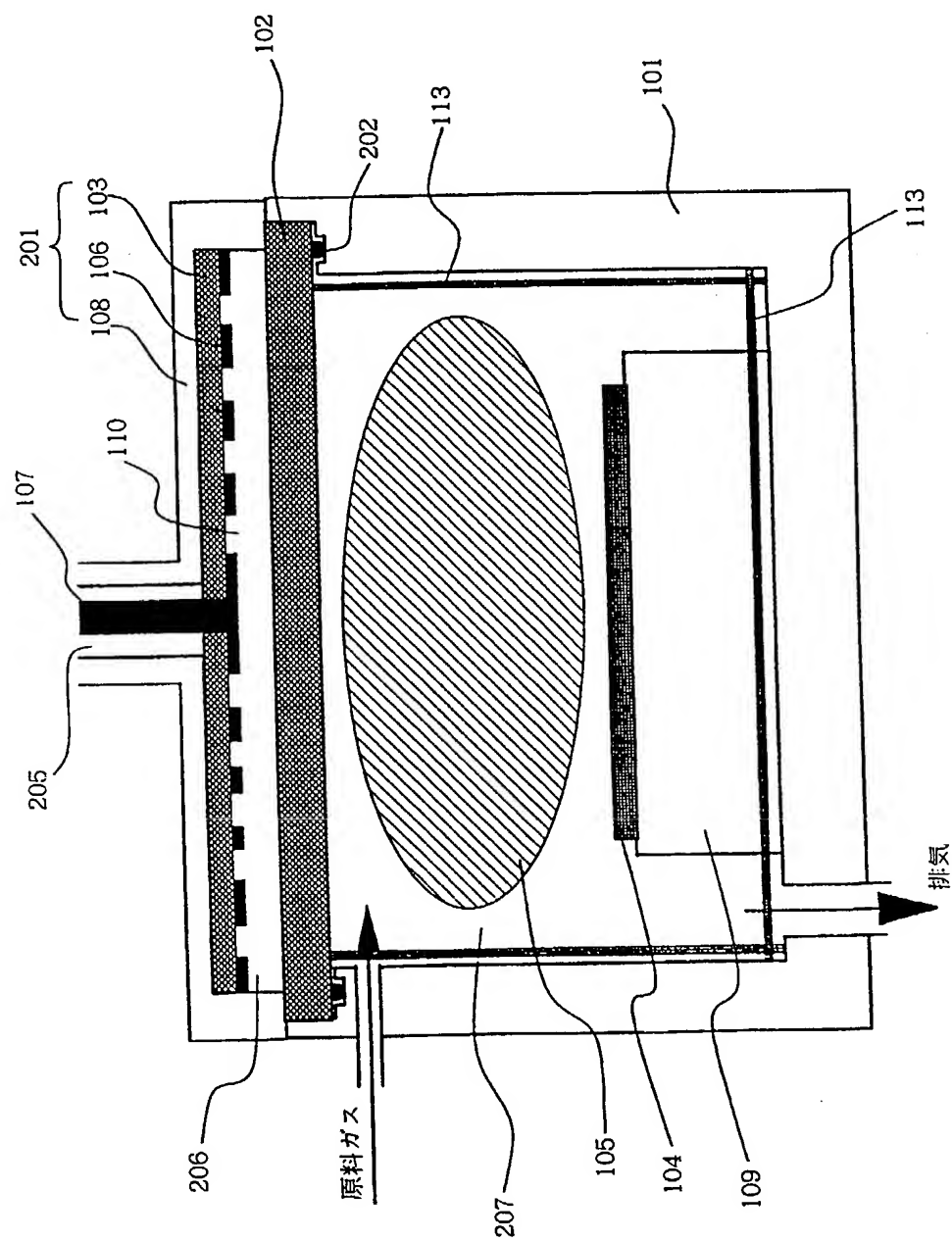


Fig. 6

6/79



F i g. 7

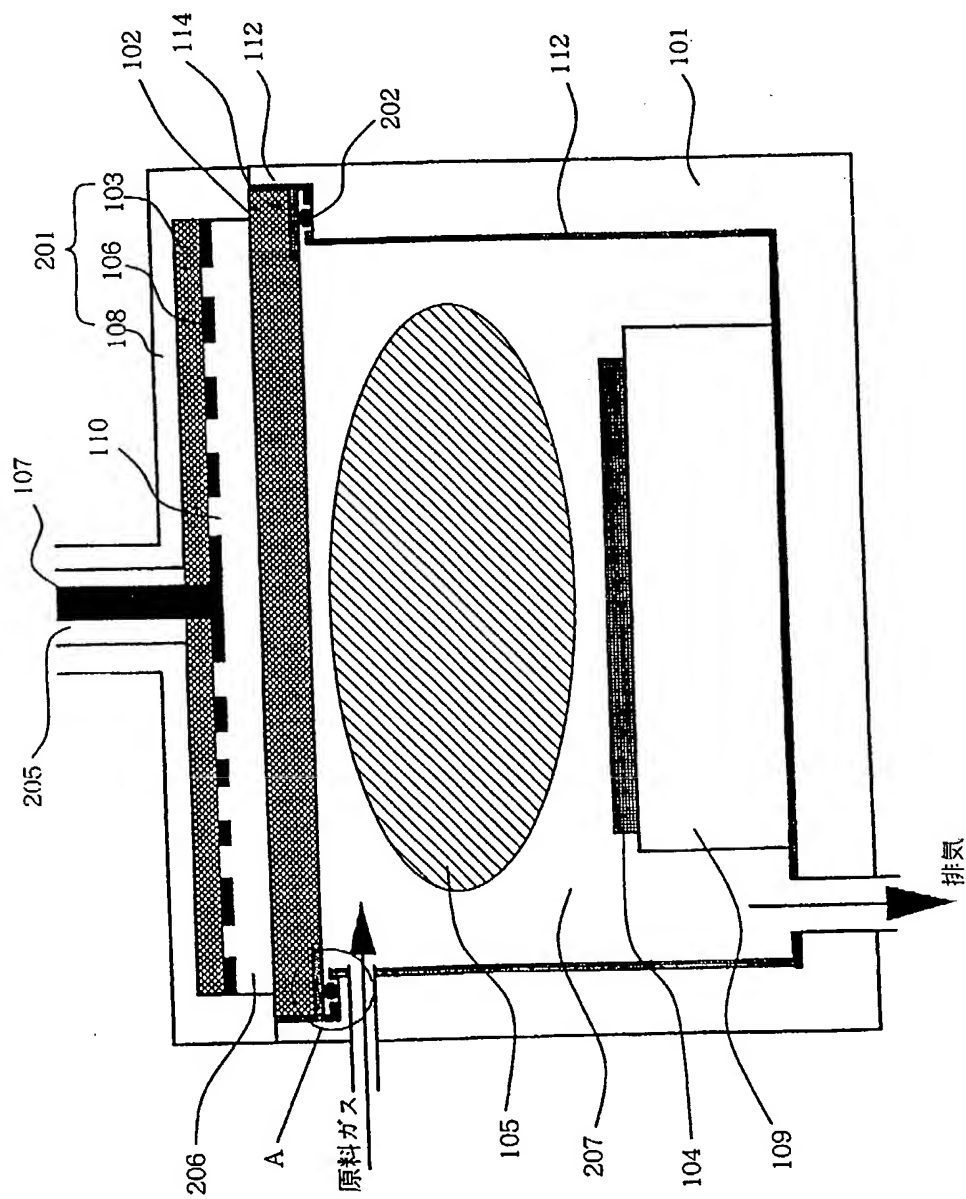


Fig. 8

8/79

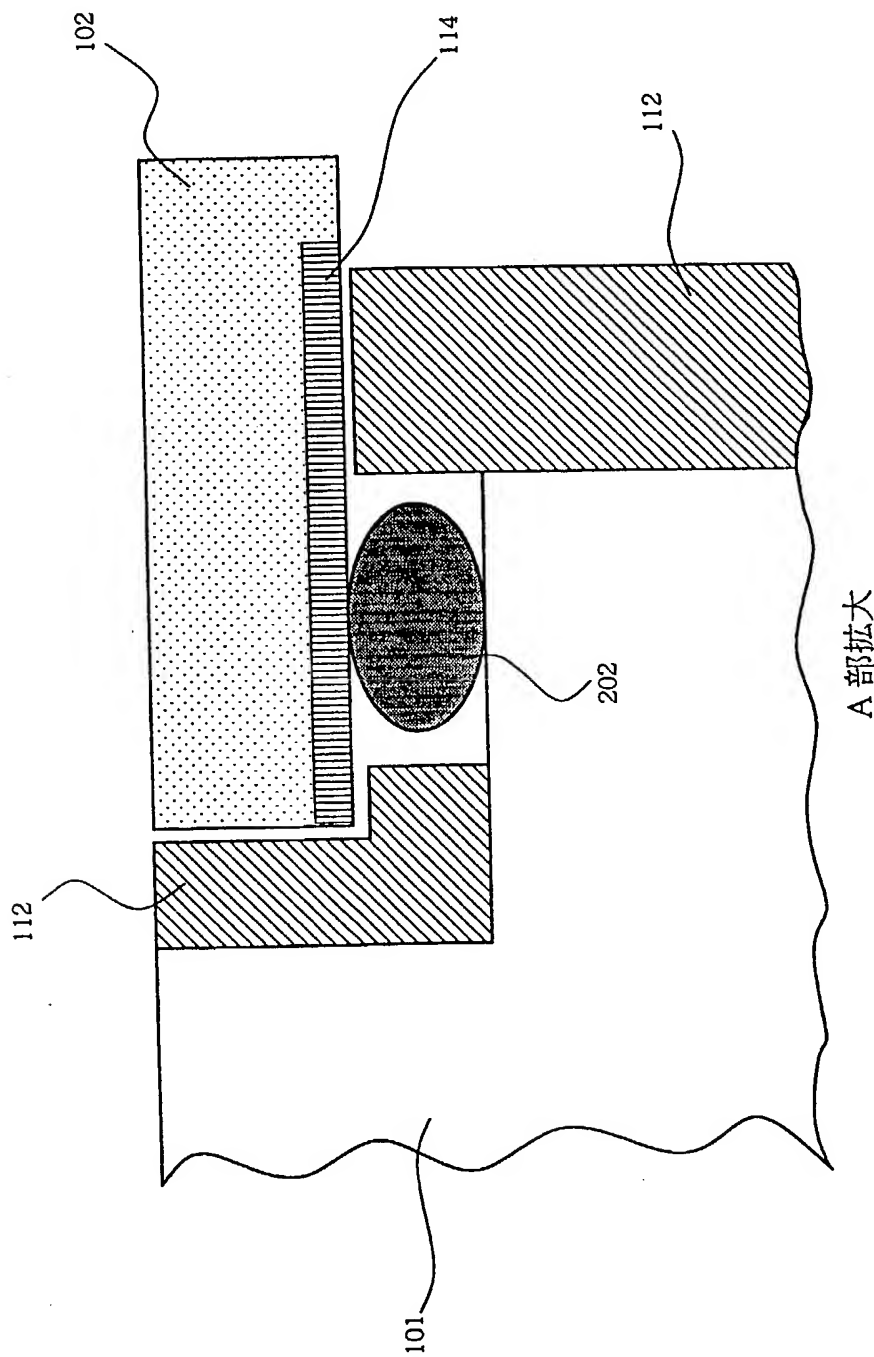


Fig. 9

9/79

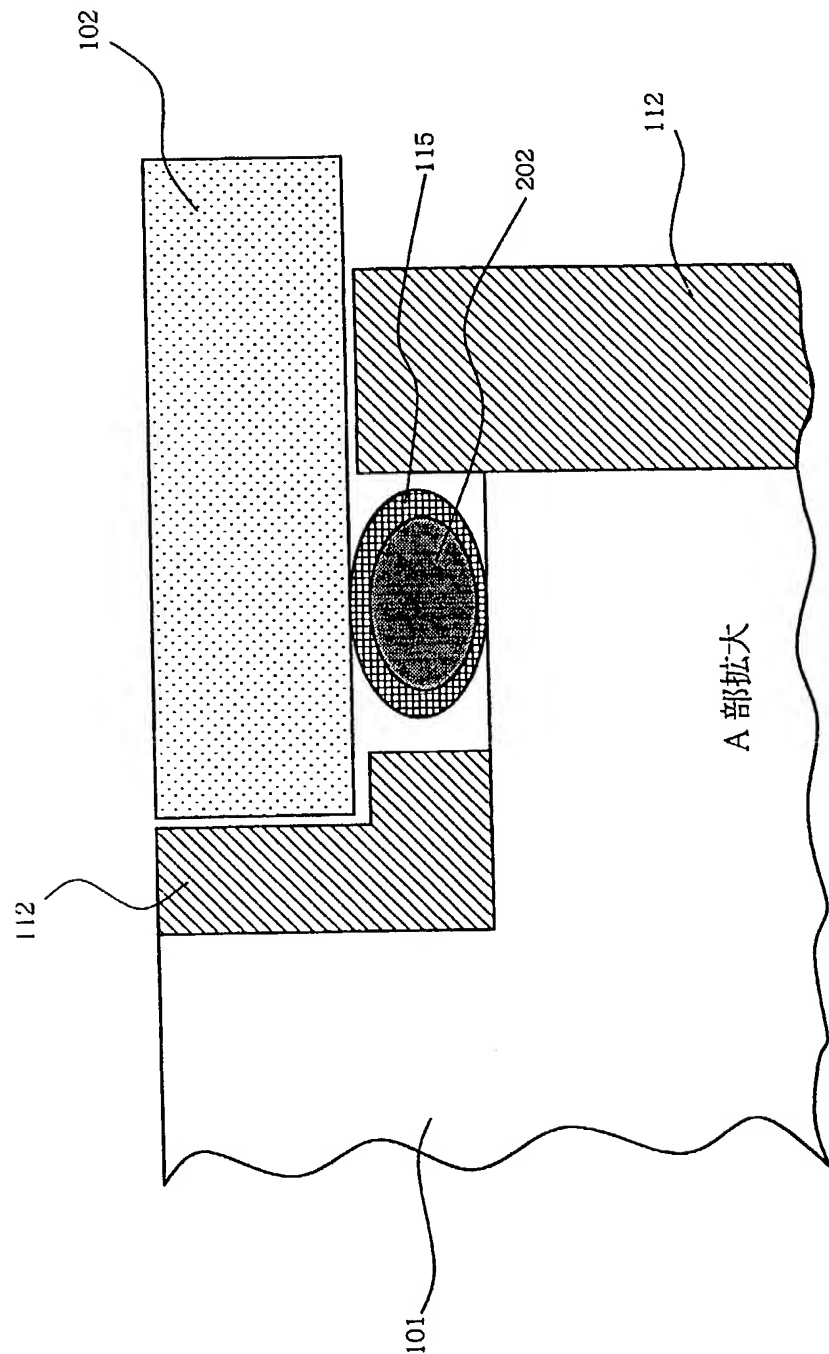


Fig. 10

10/79

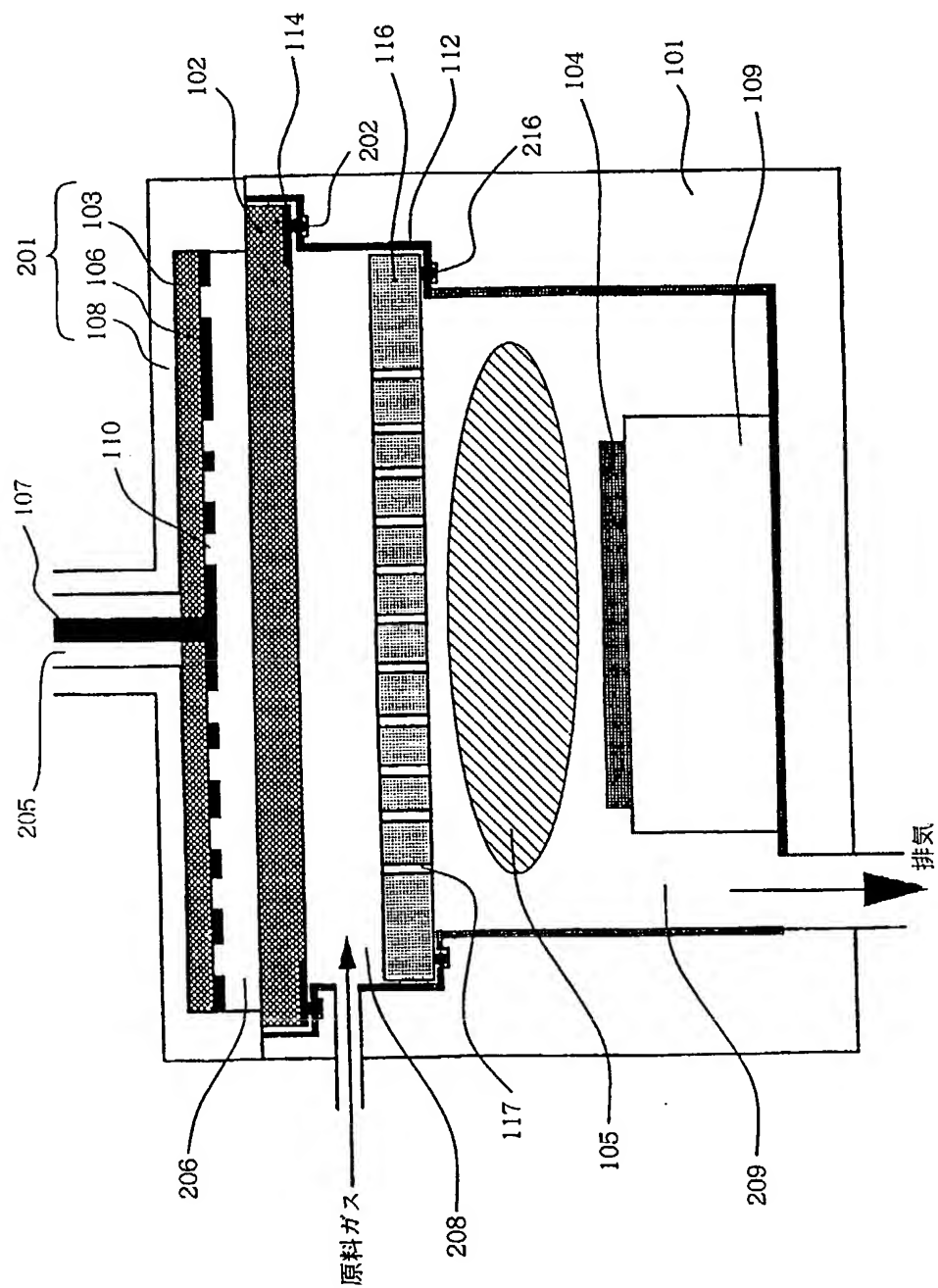


Fig. 11

11/79

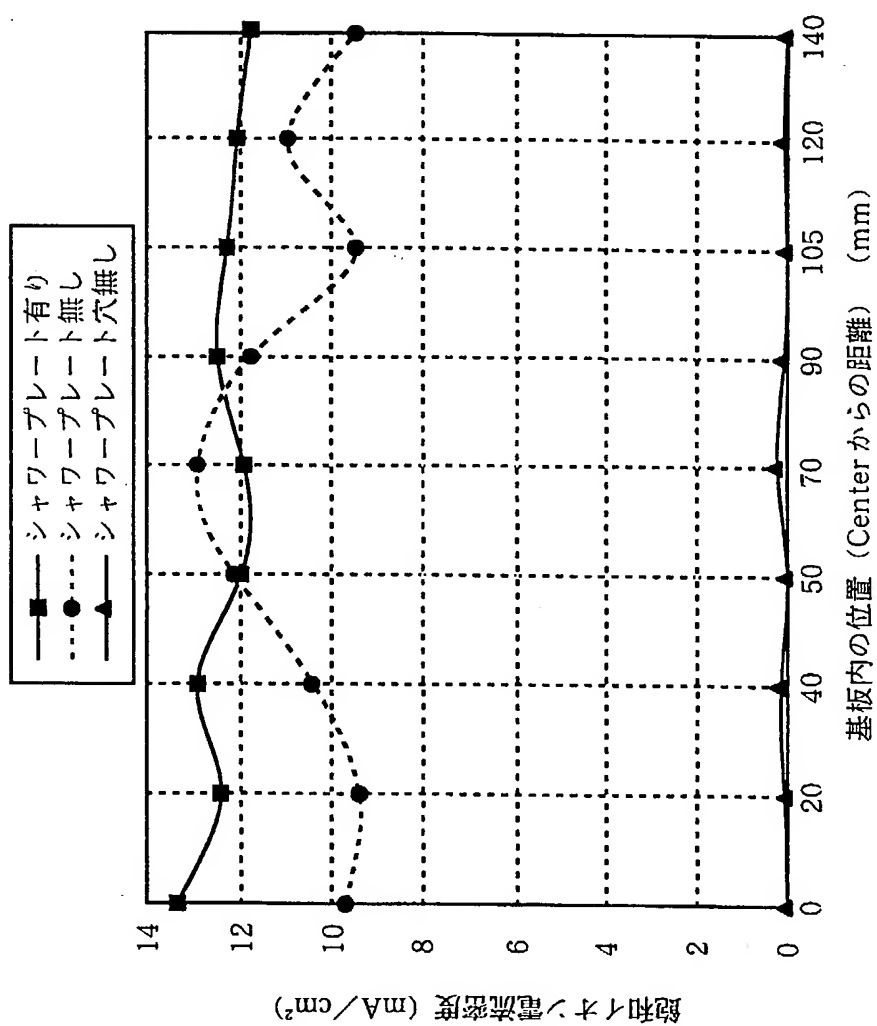


Fig. 12

12/79

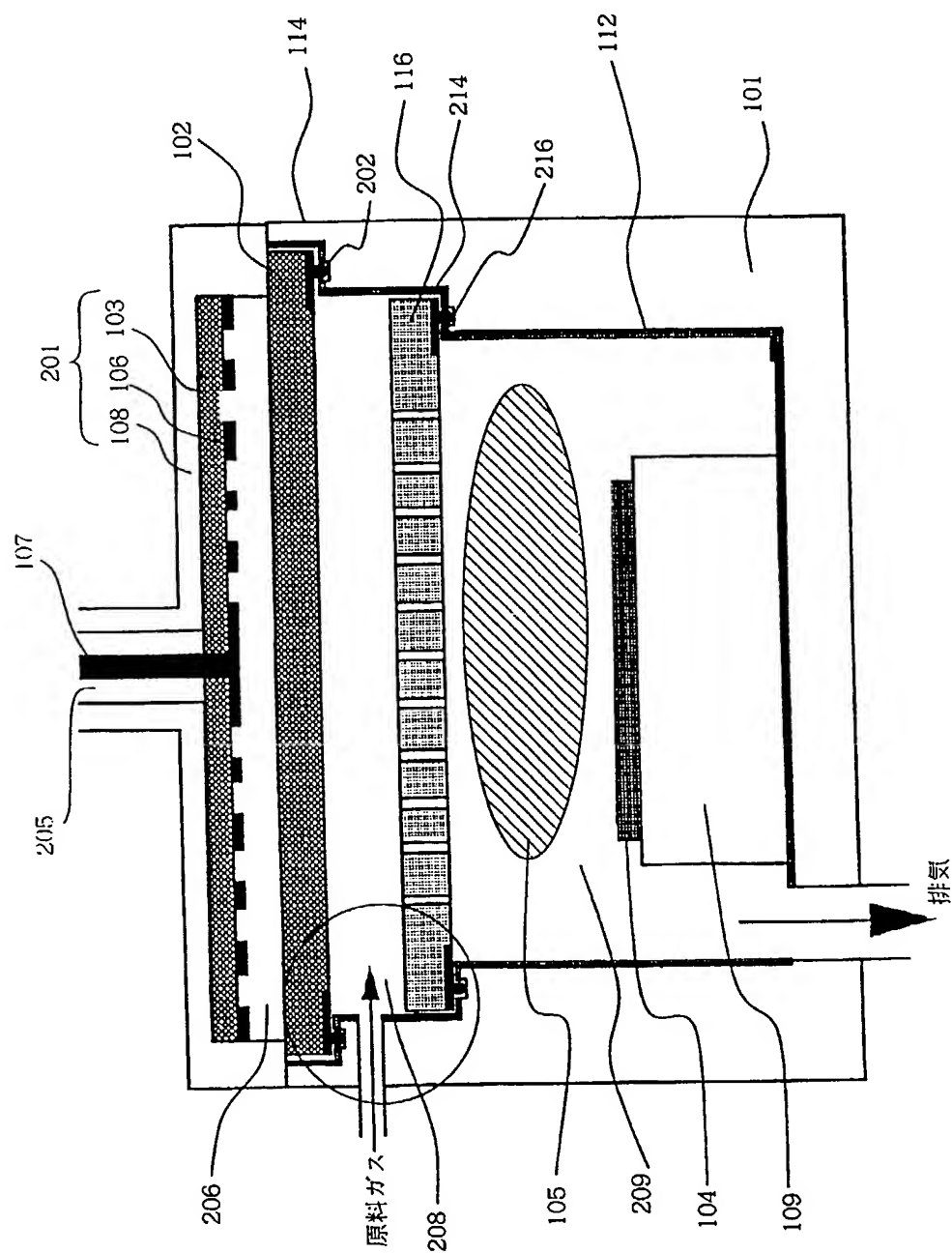


Fig. 13

13/79

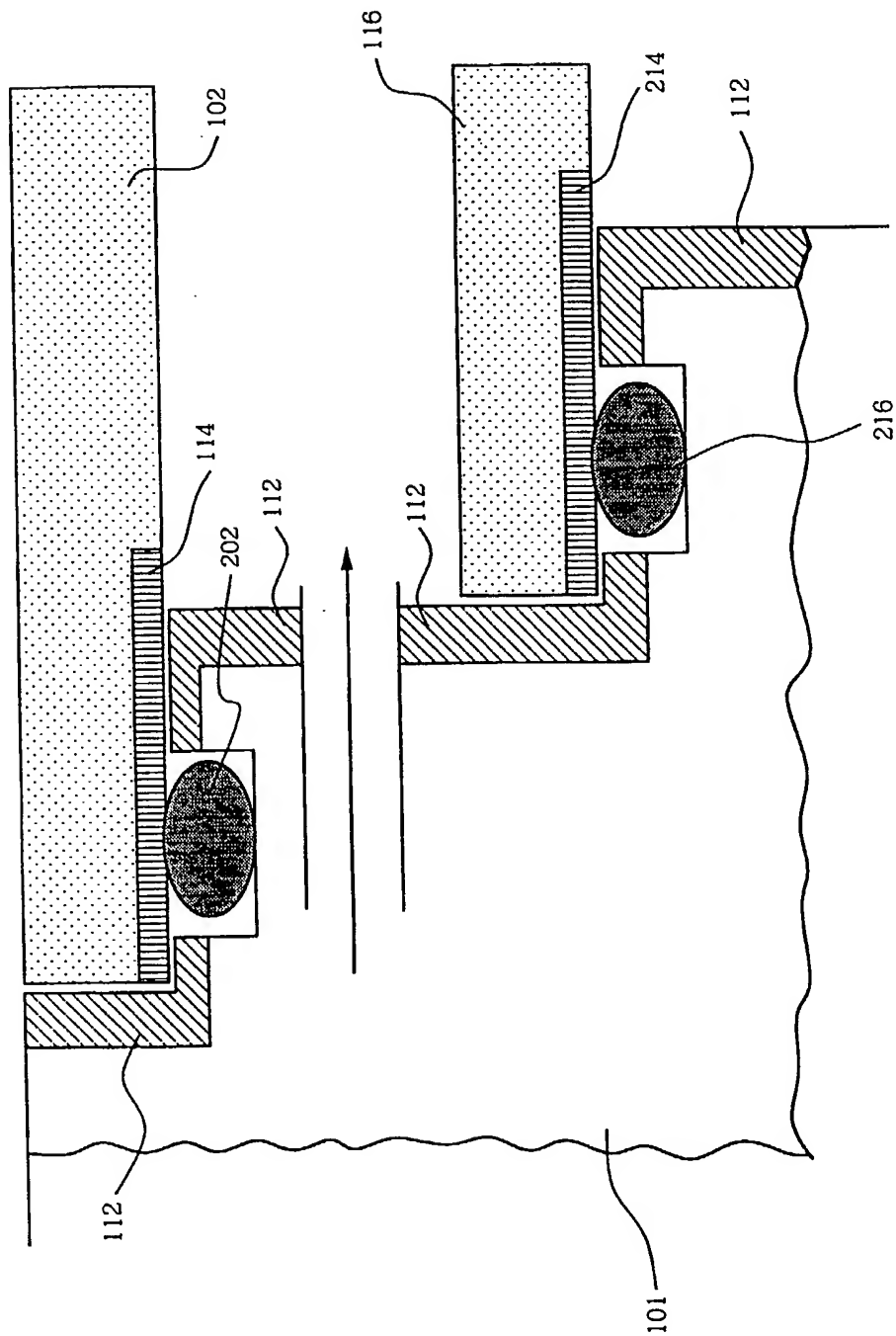


Fig. 14

14/79

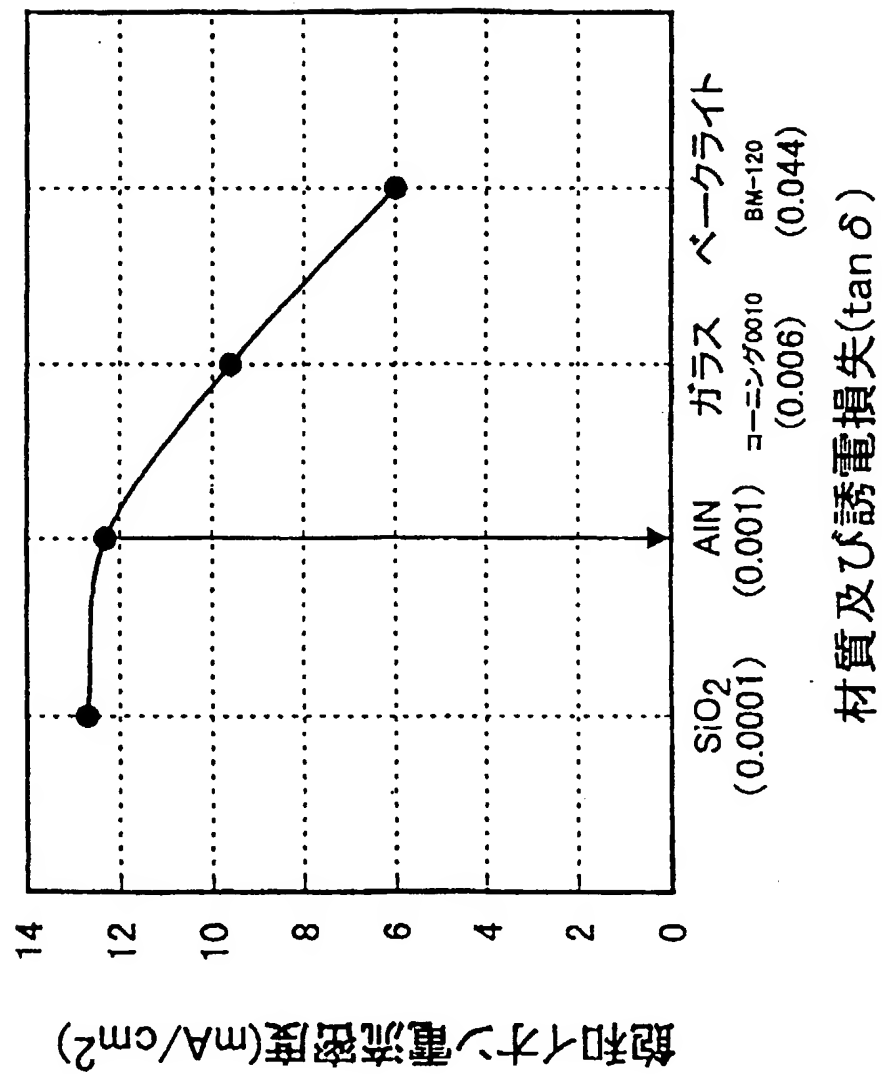


Fig. 15

15/79

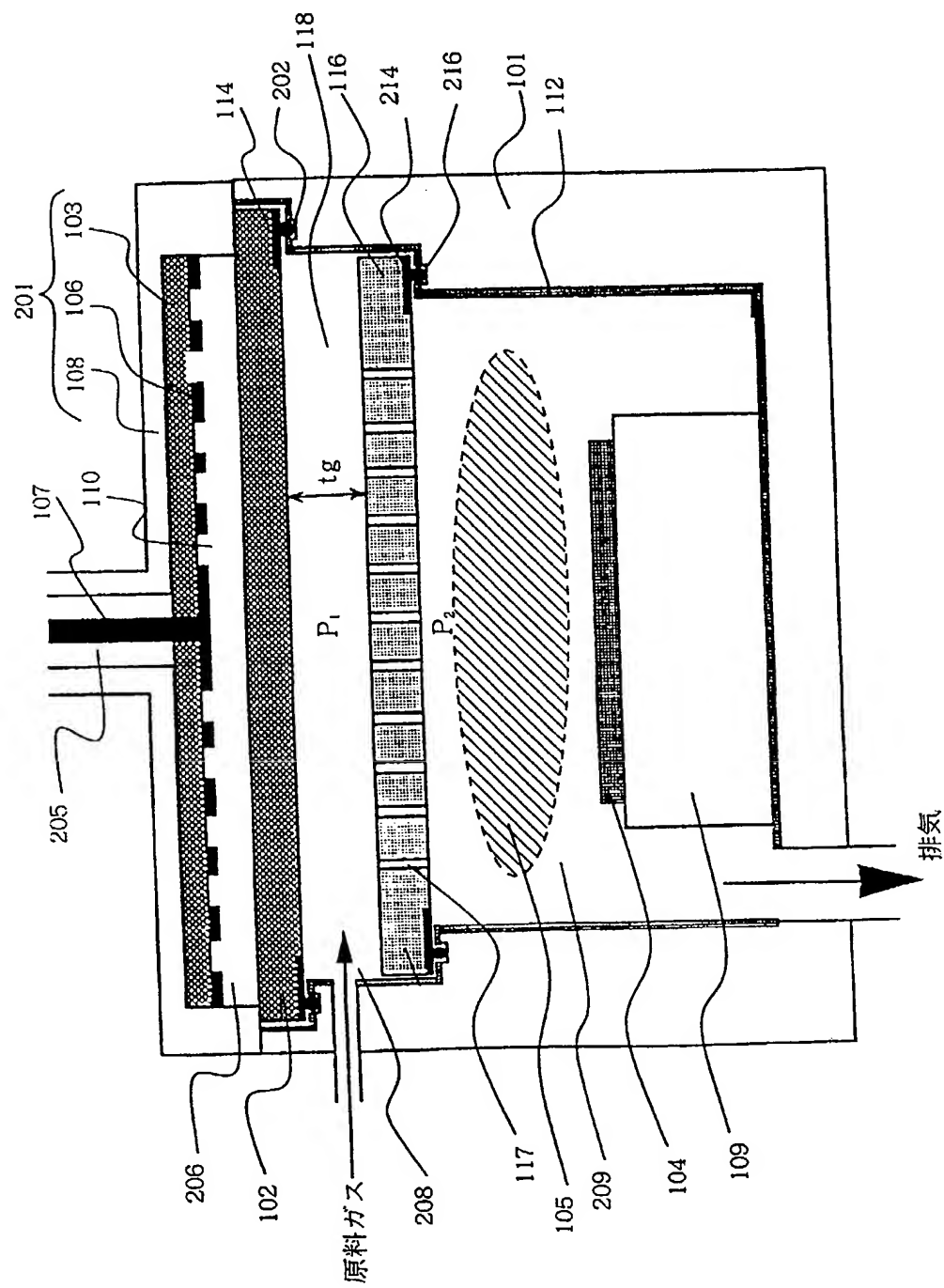


Fig. 16

16/79

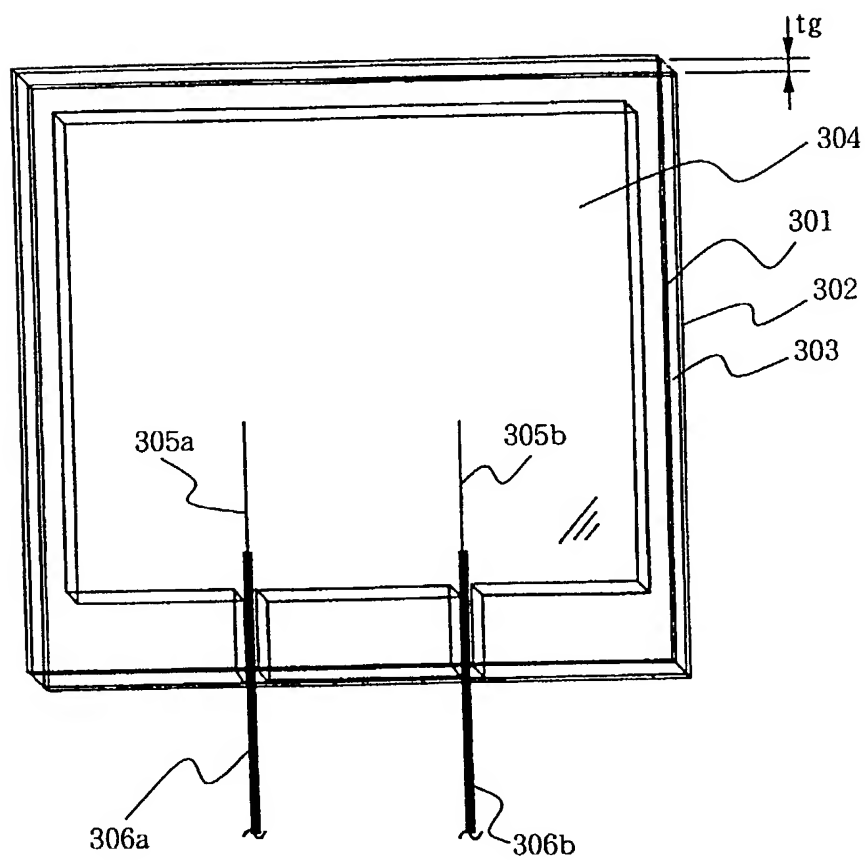


Fig. 17

17/79

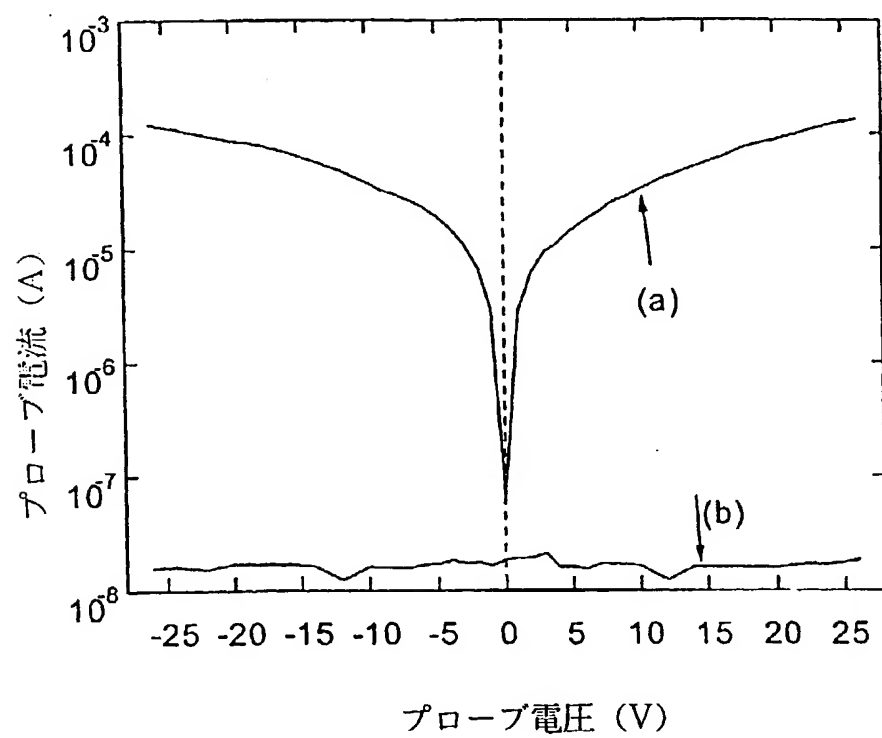
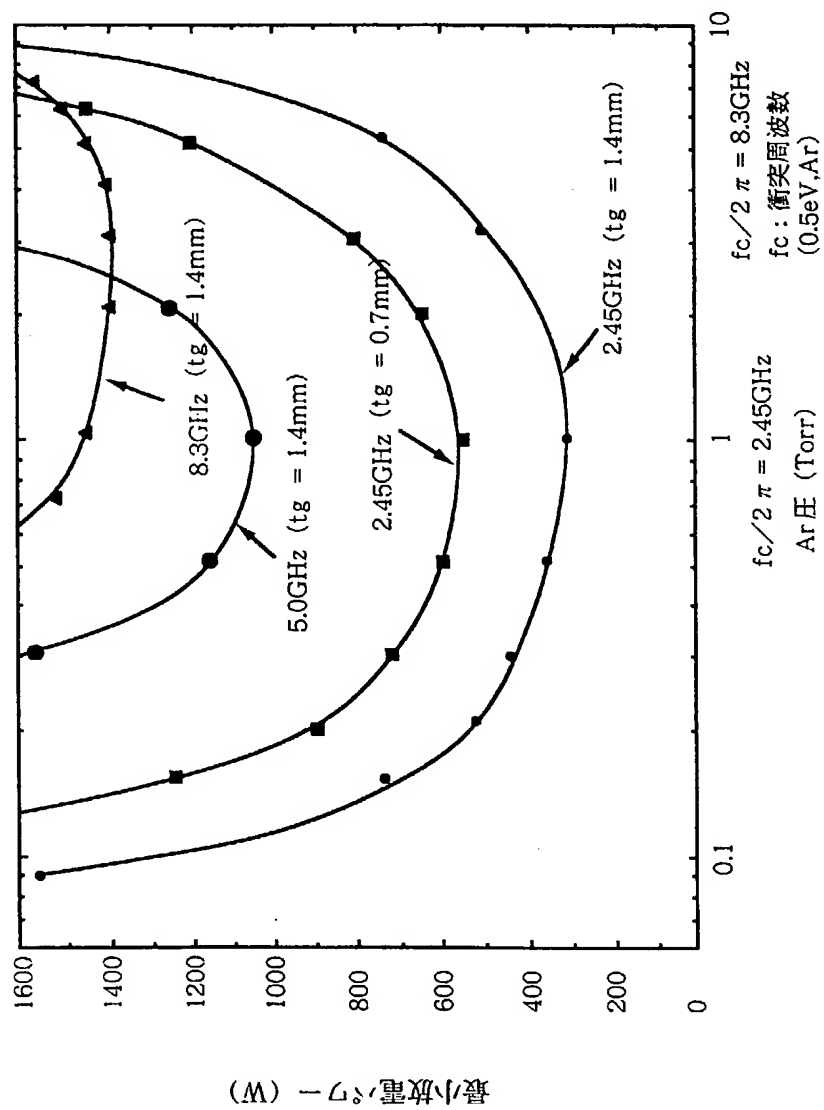


Fig. 18

18/79



F i g. 2 0

20/79

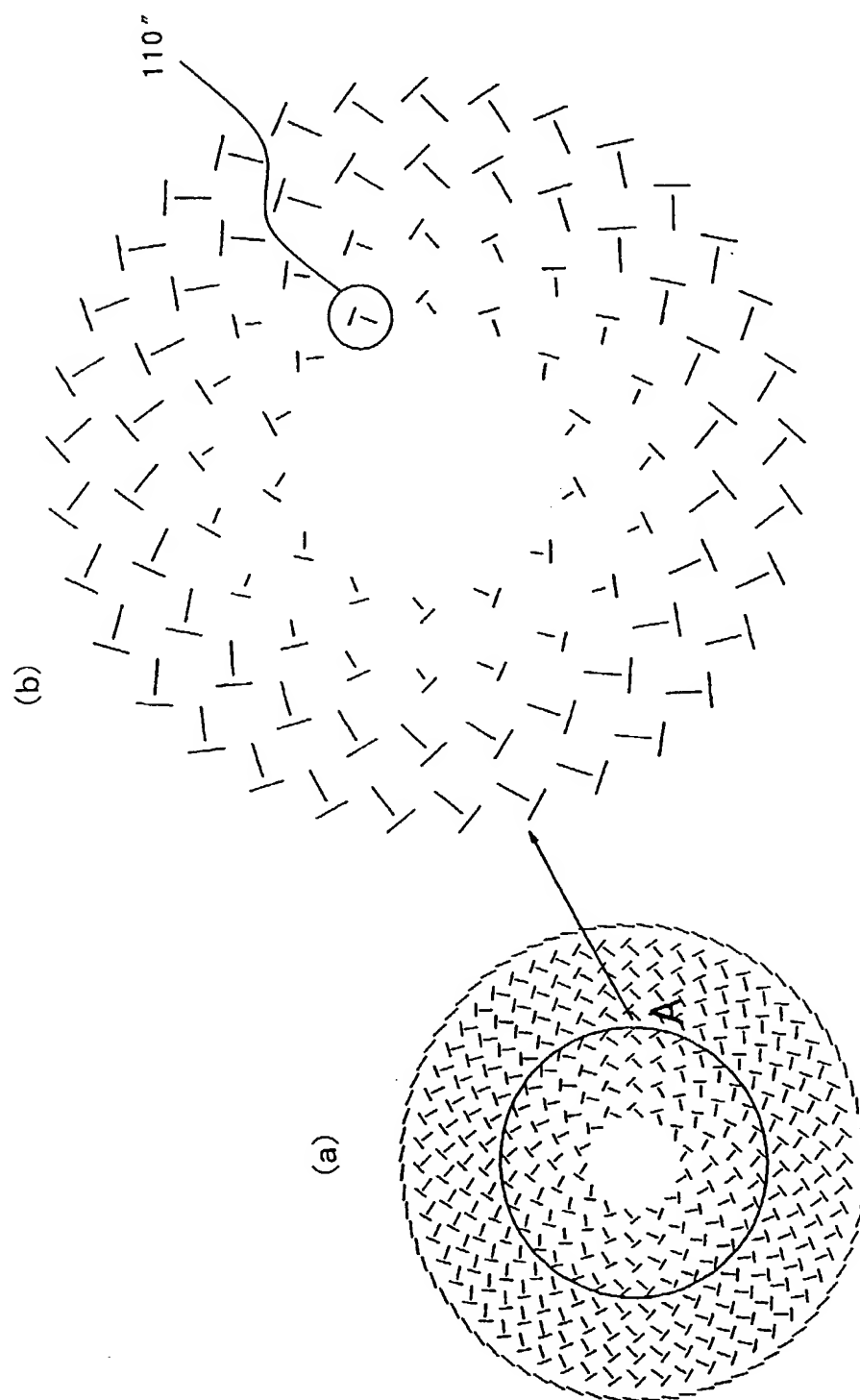


Fig. 21

21/79

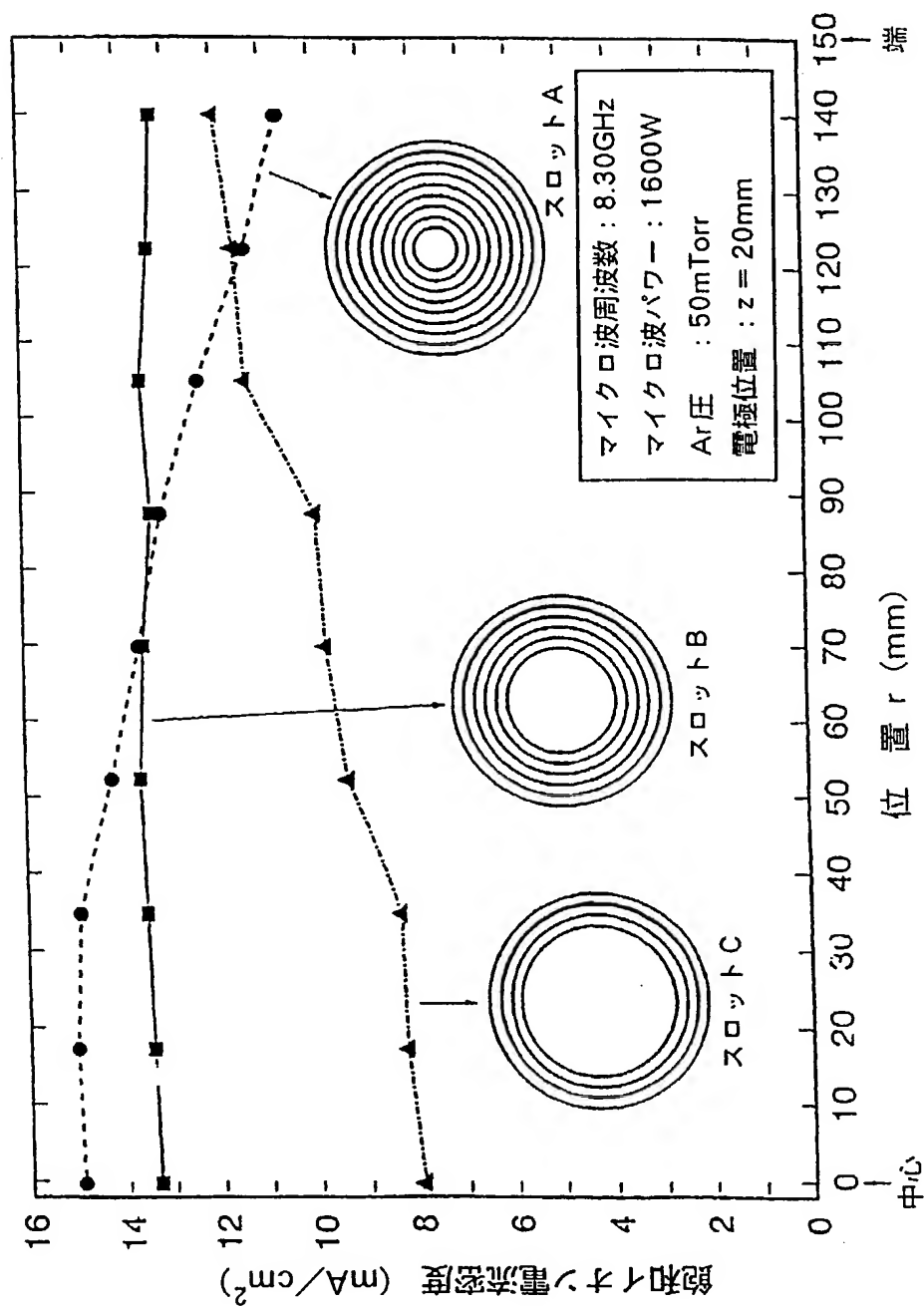


Fig. 22

22/79

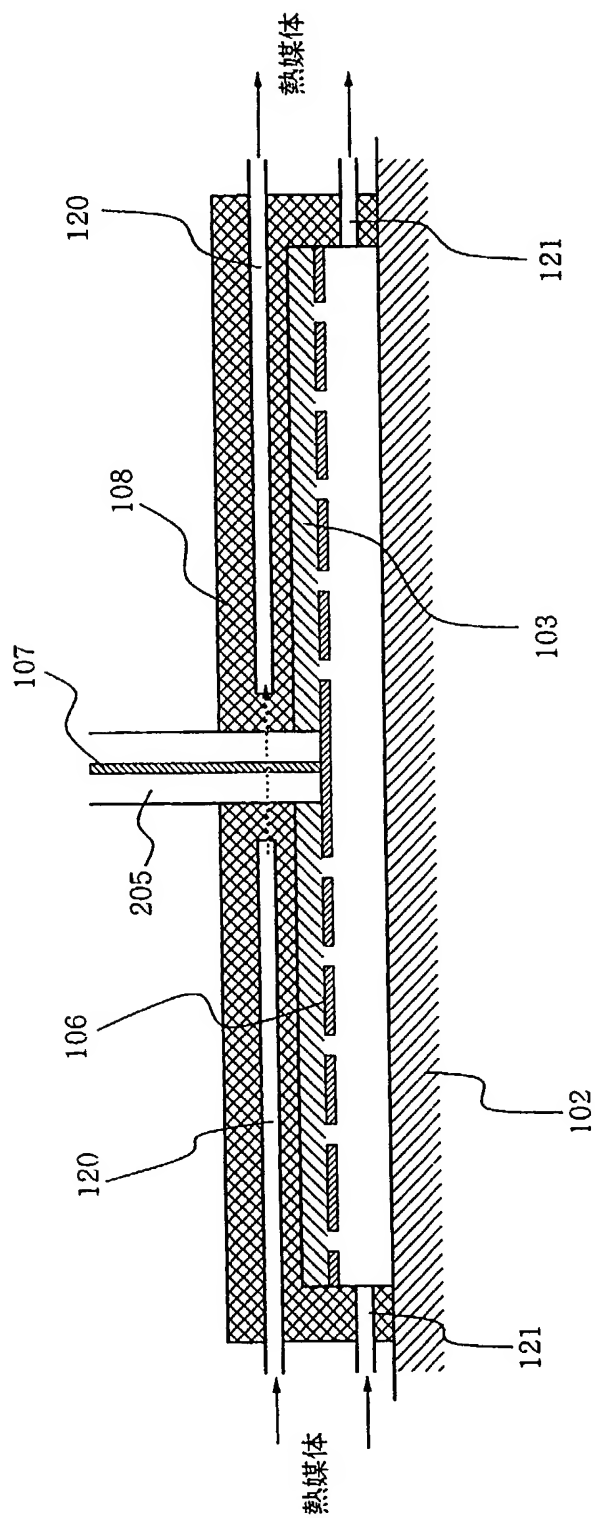
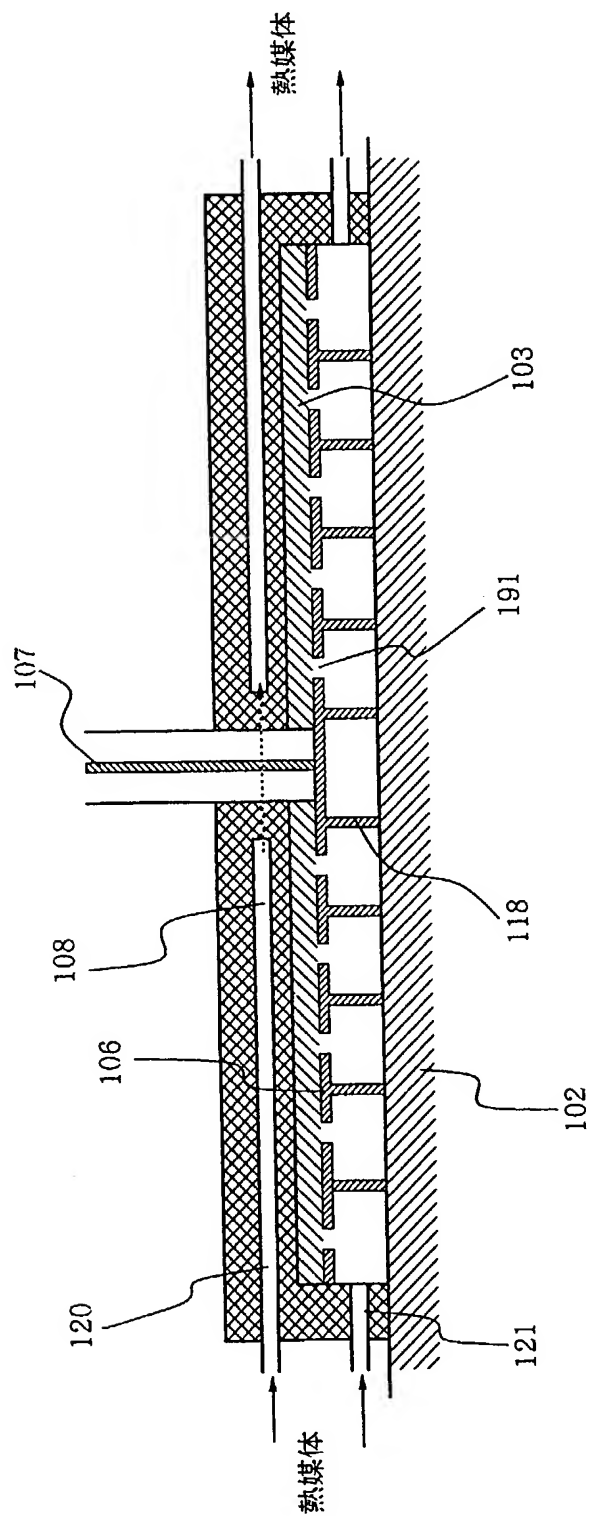
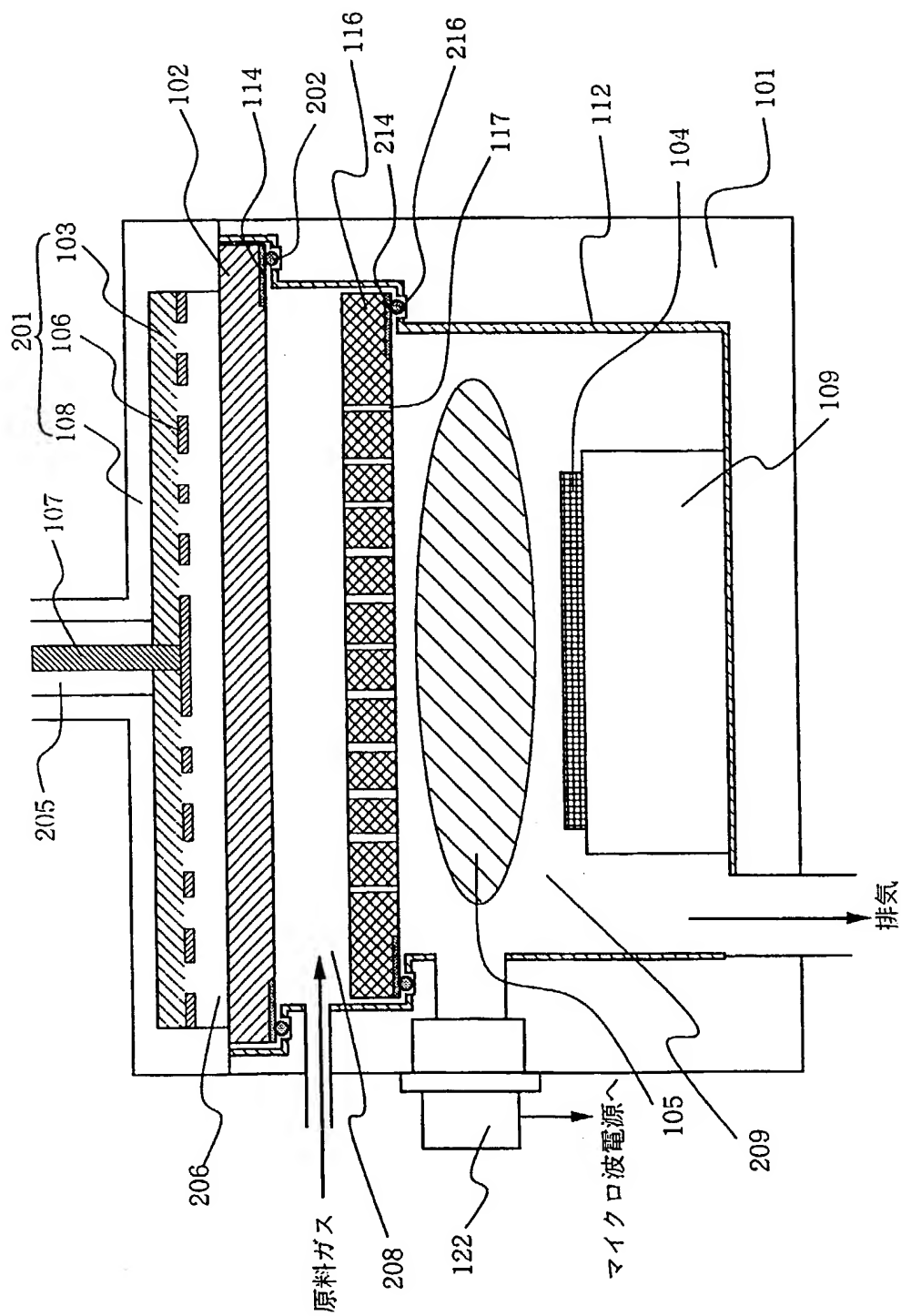


Fig. 23

23/79





25/79

Fig. 25

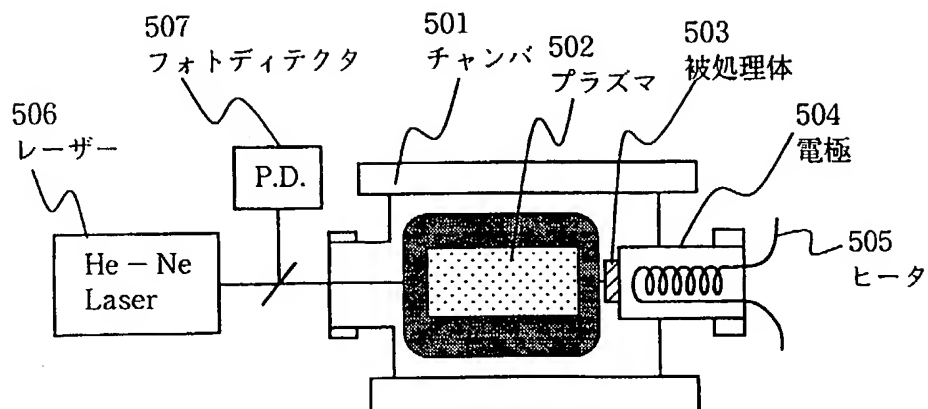


Fig. 26

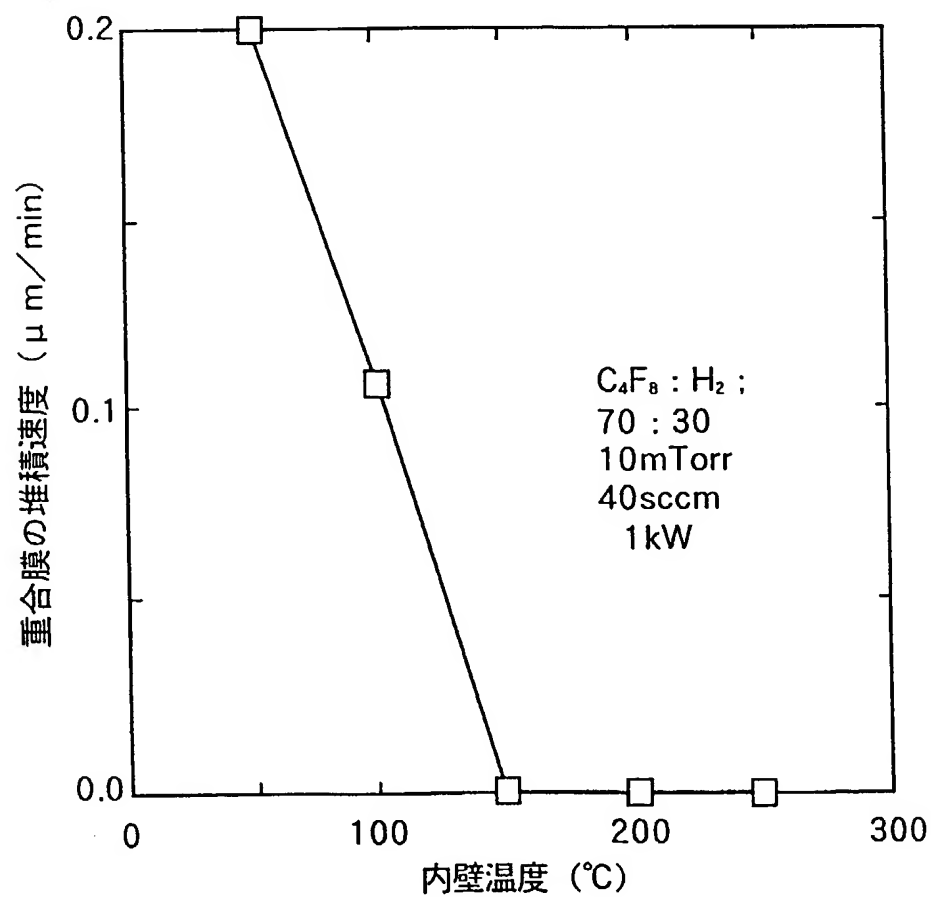


Fig. 27

26/79

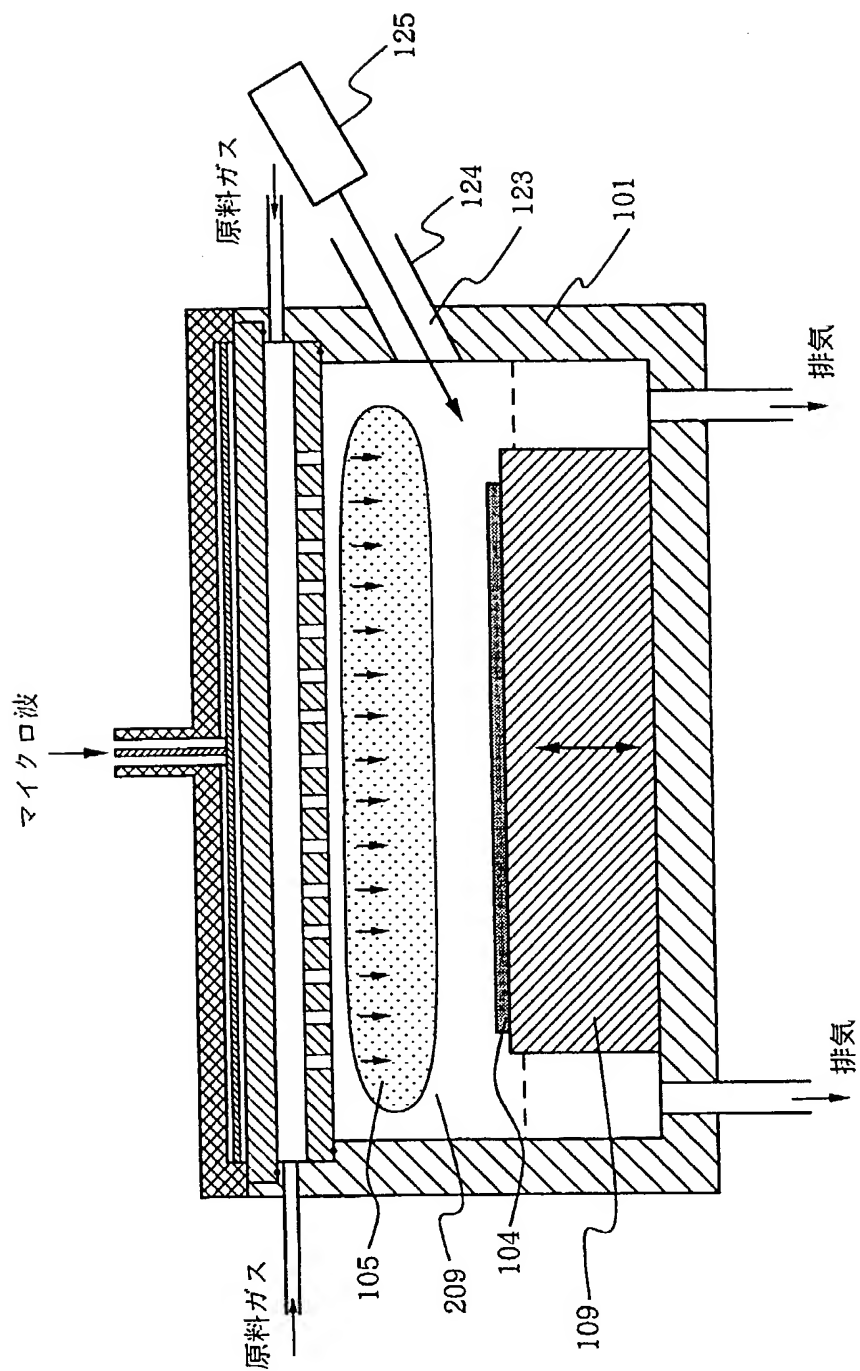


Fig. 28

27/79

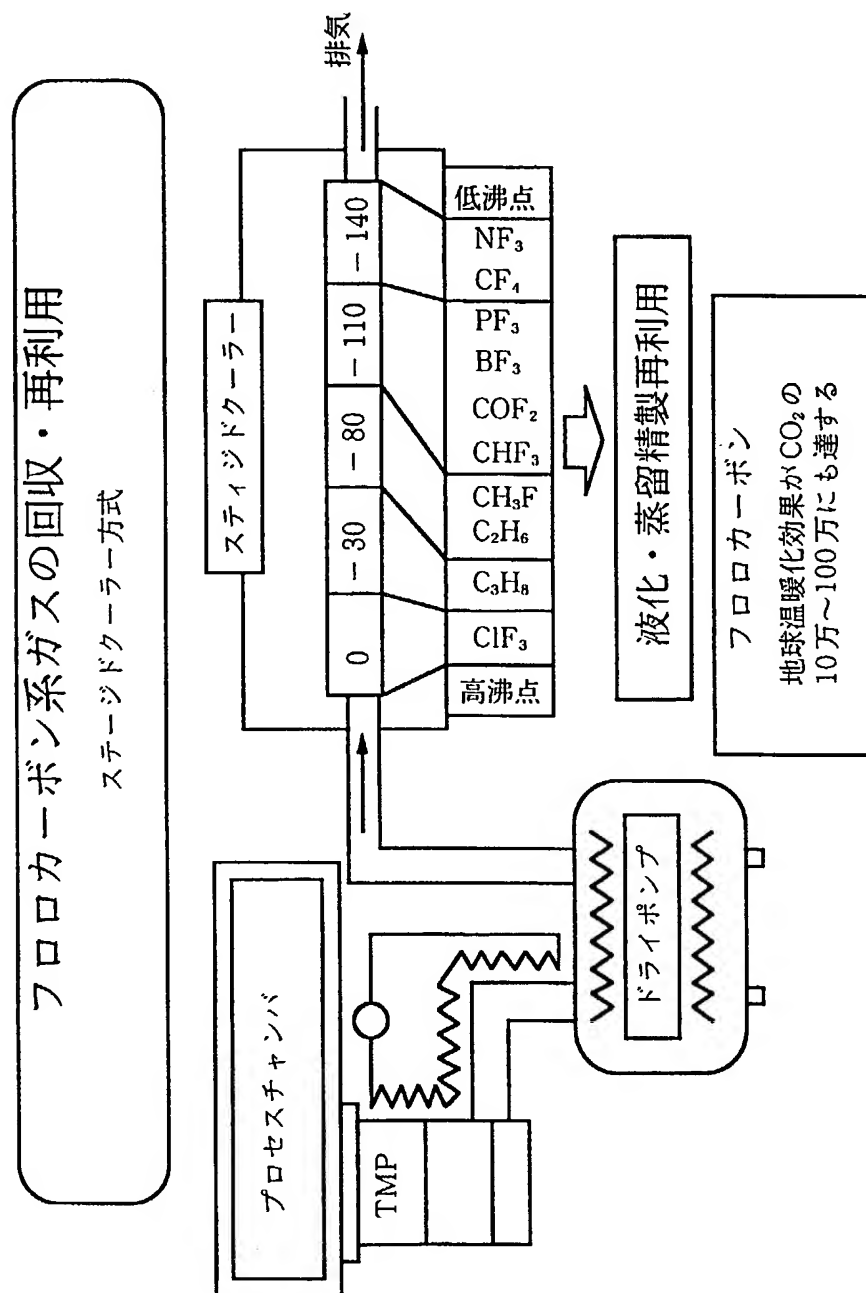


Fig. 29

28/79

イオンフラックス パラメータ

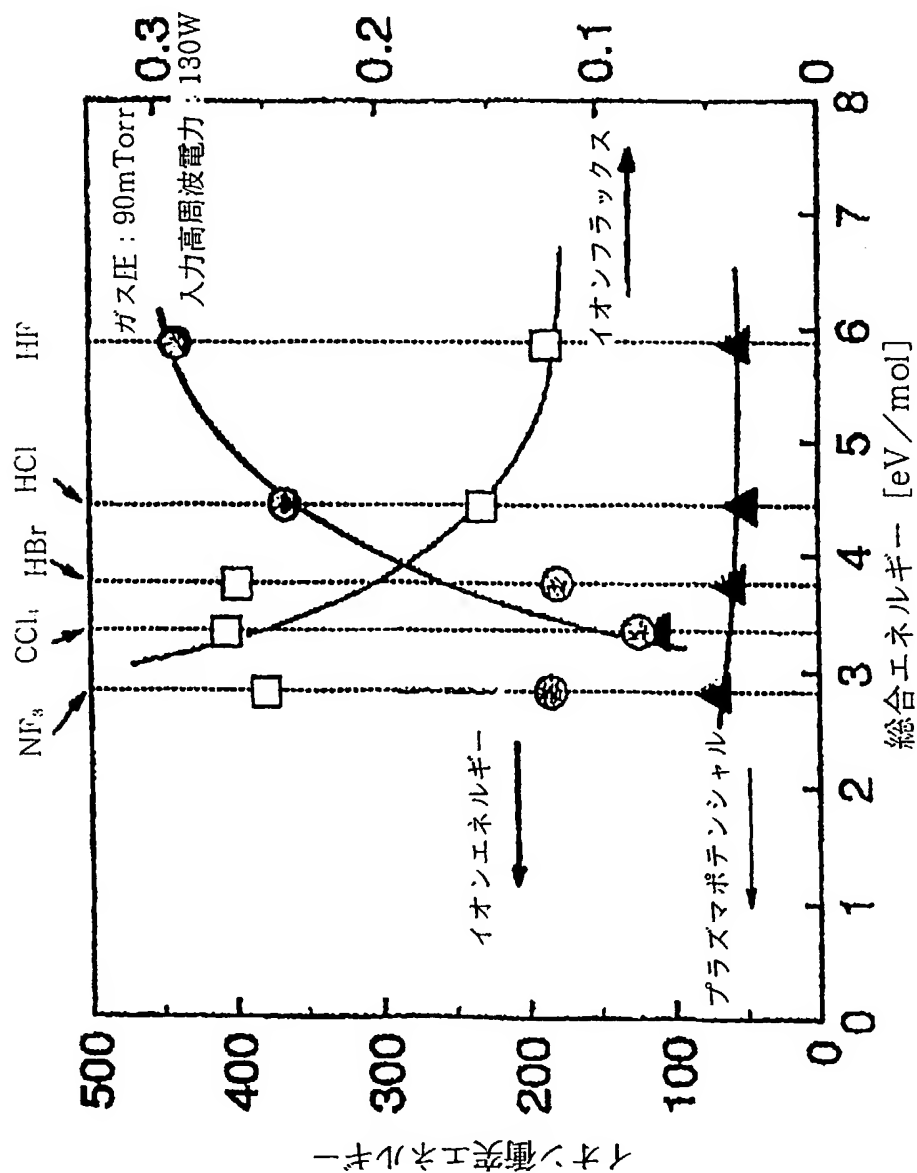
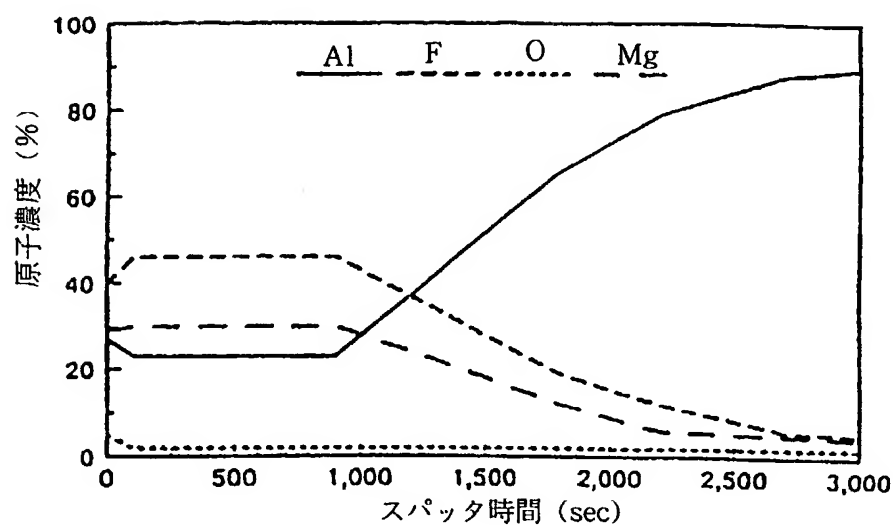
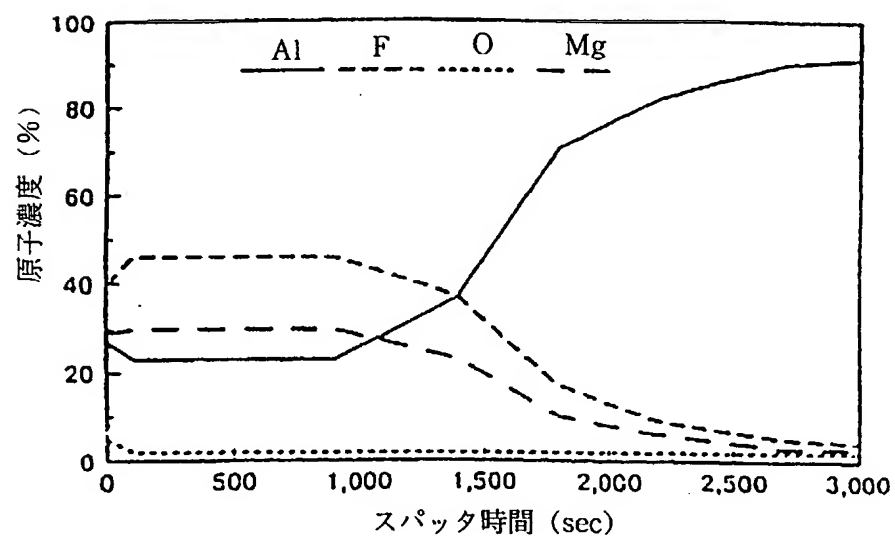


Fig. 30

29/79



(a)



(b)

Fig. 31

30/79

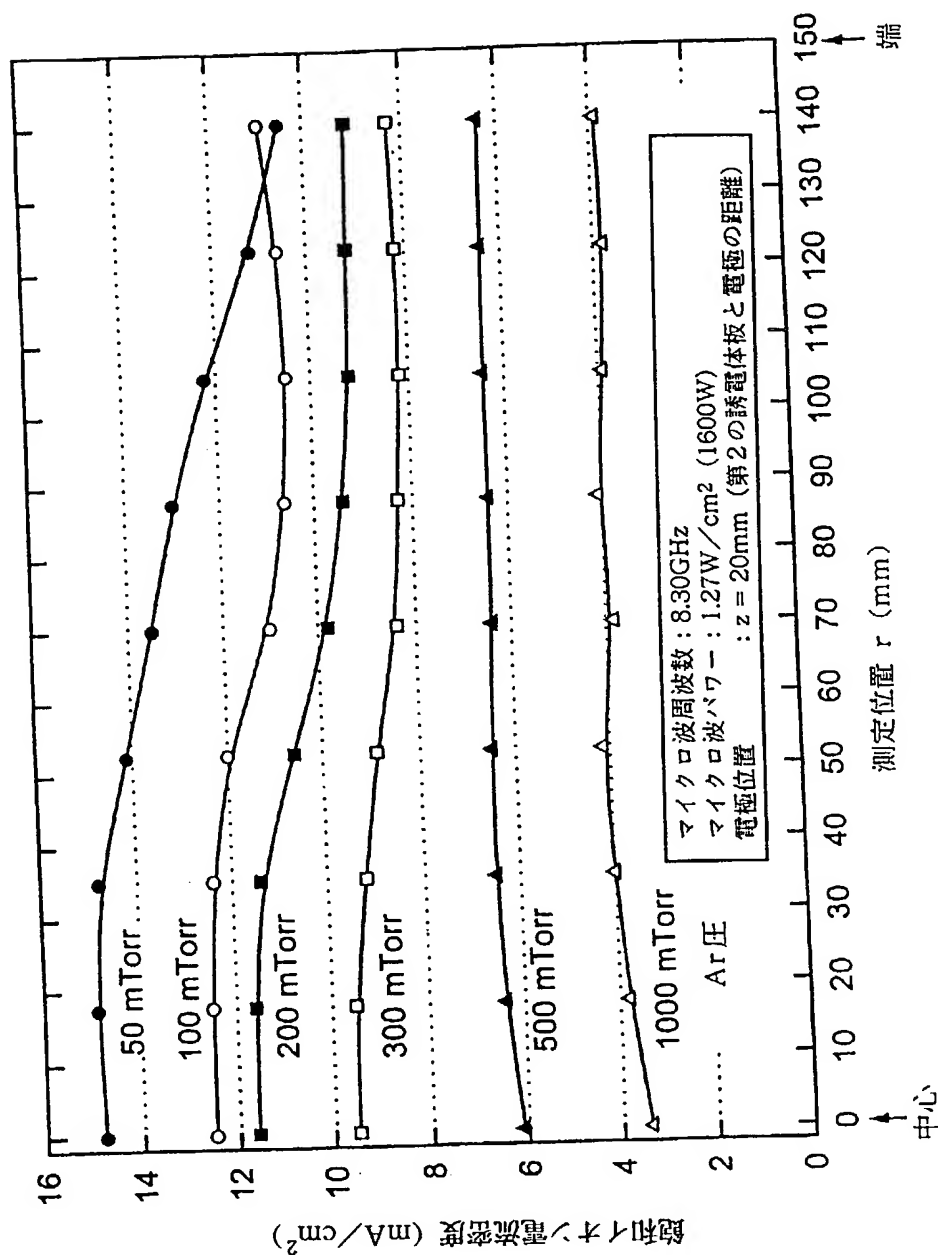


Fig. 32

31/79

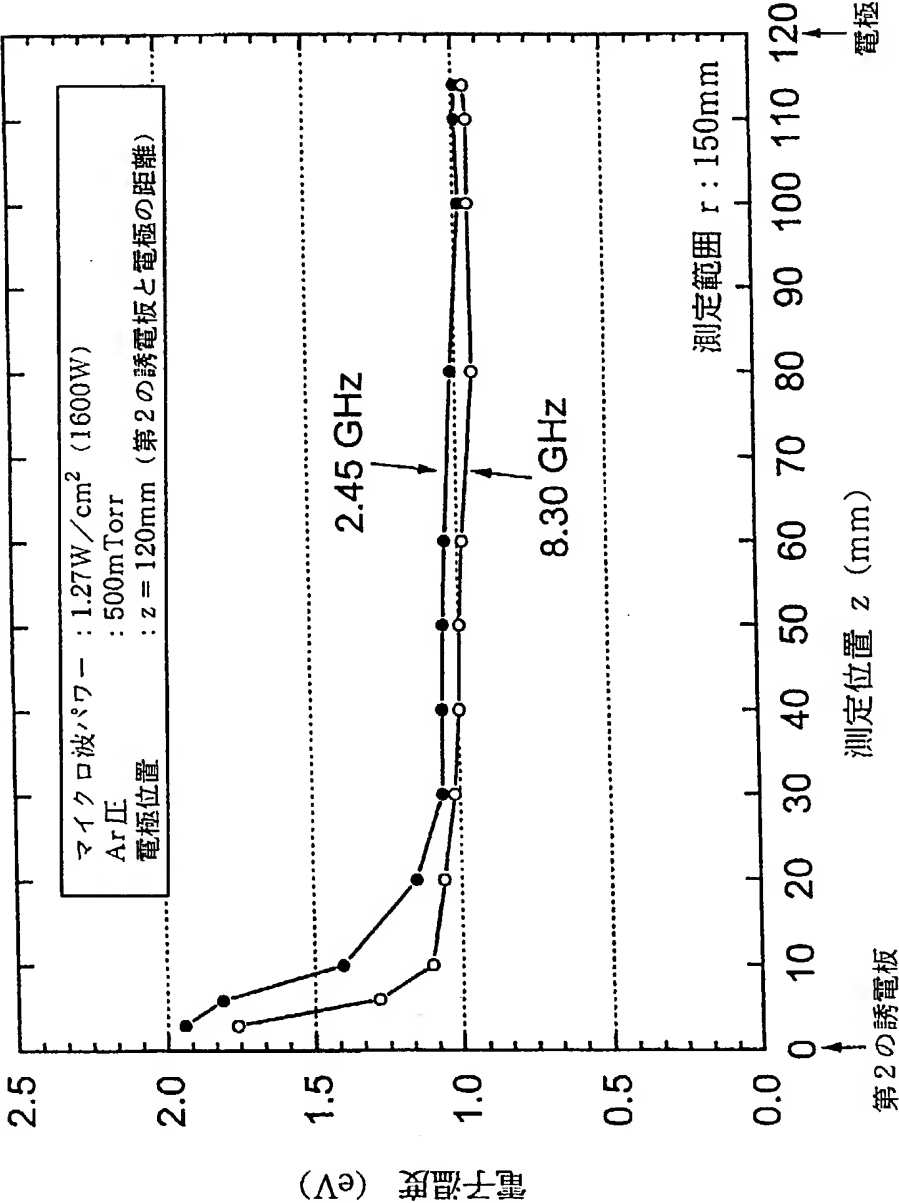
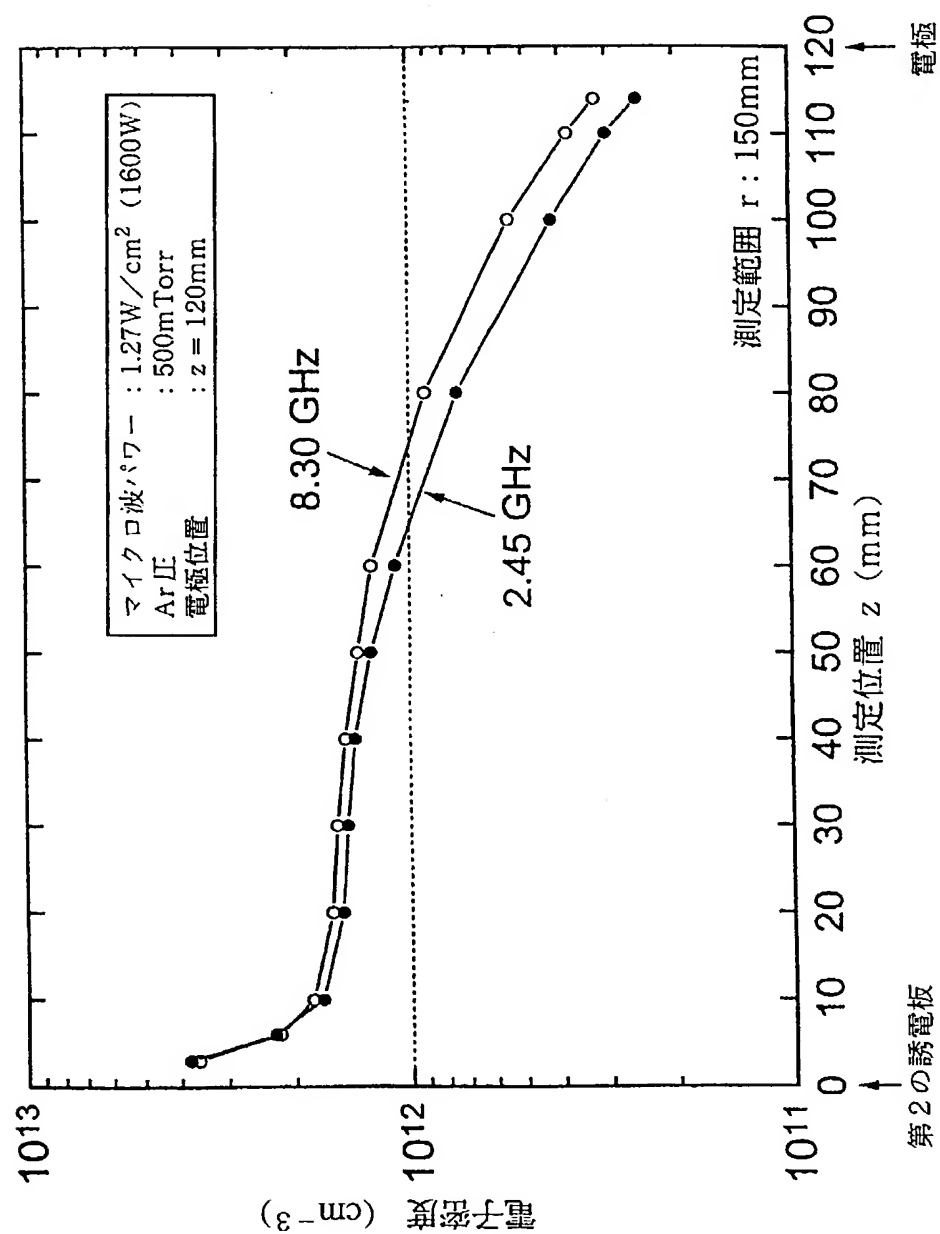


Fig. 33

32/79



F i g. 3 4

33/79

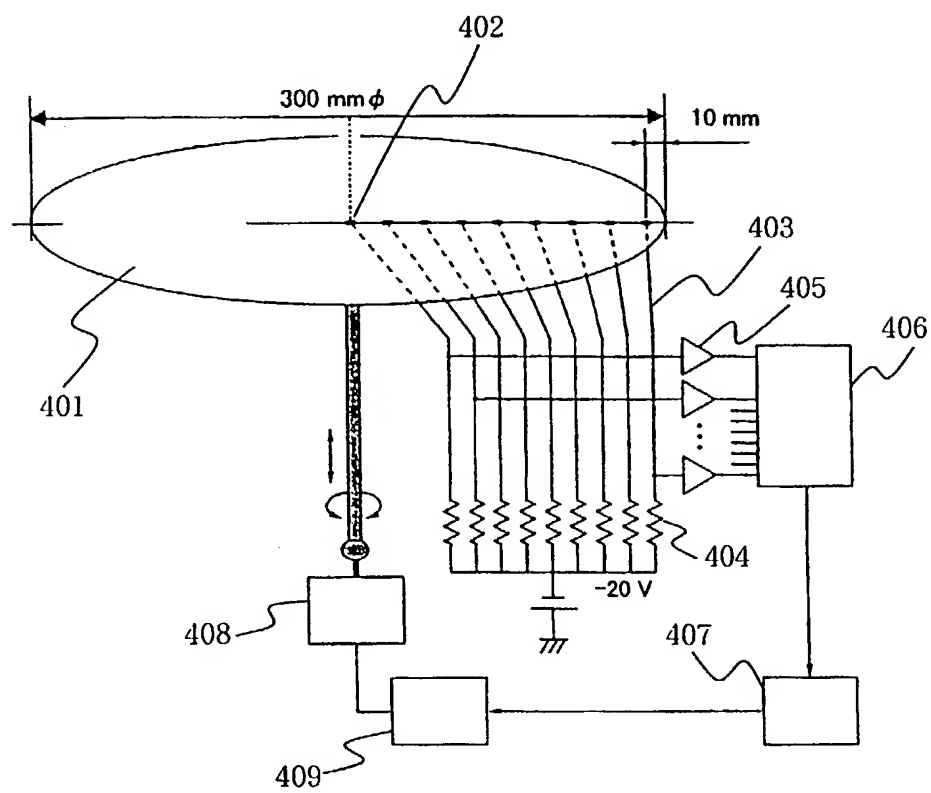


Fig. 35

34/79

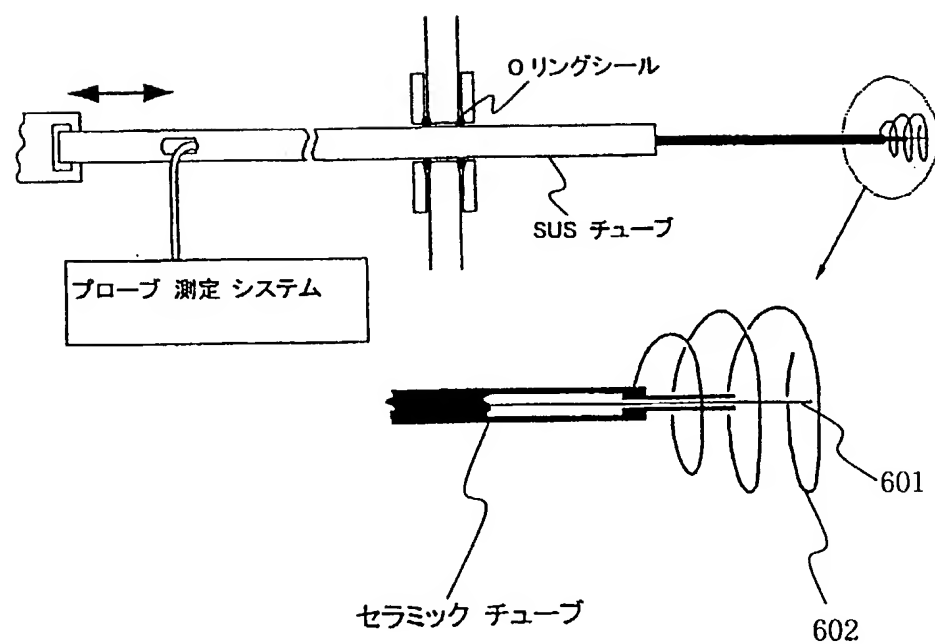


Fig. 36

35/79

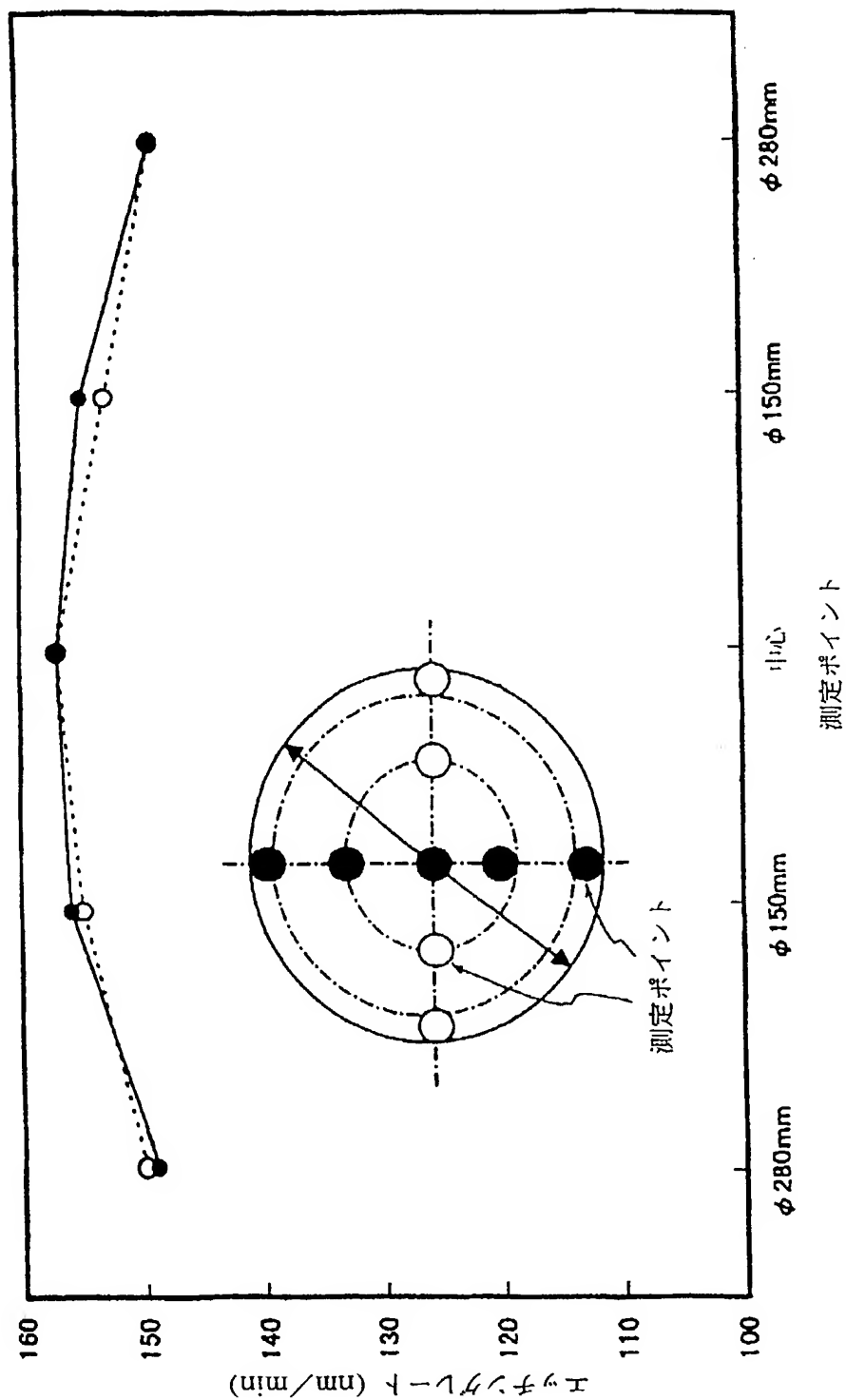


Fig. 37

36/79

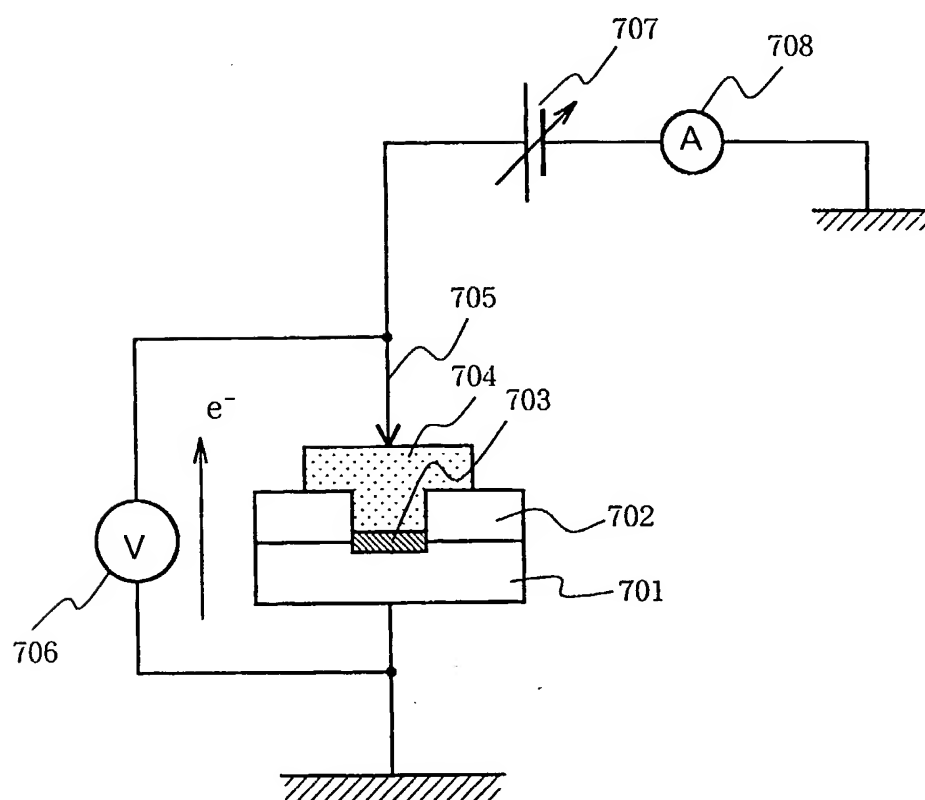


Fig. 38

37/79

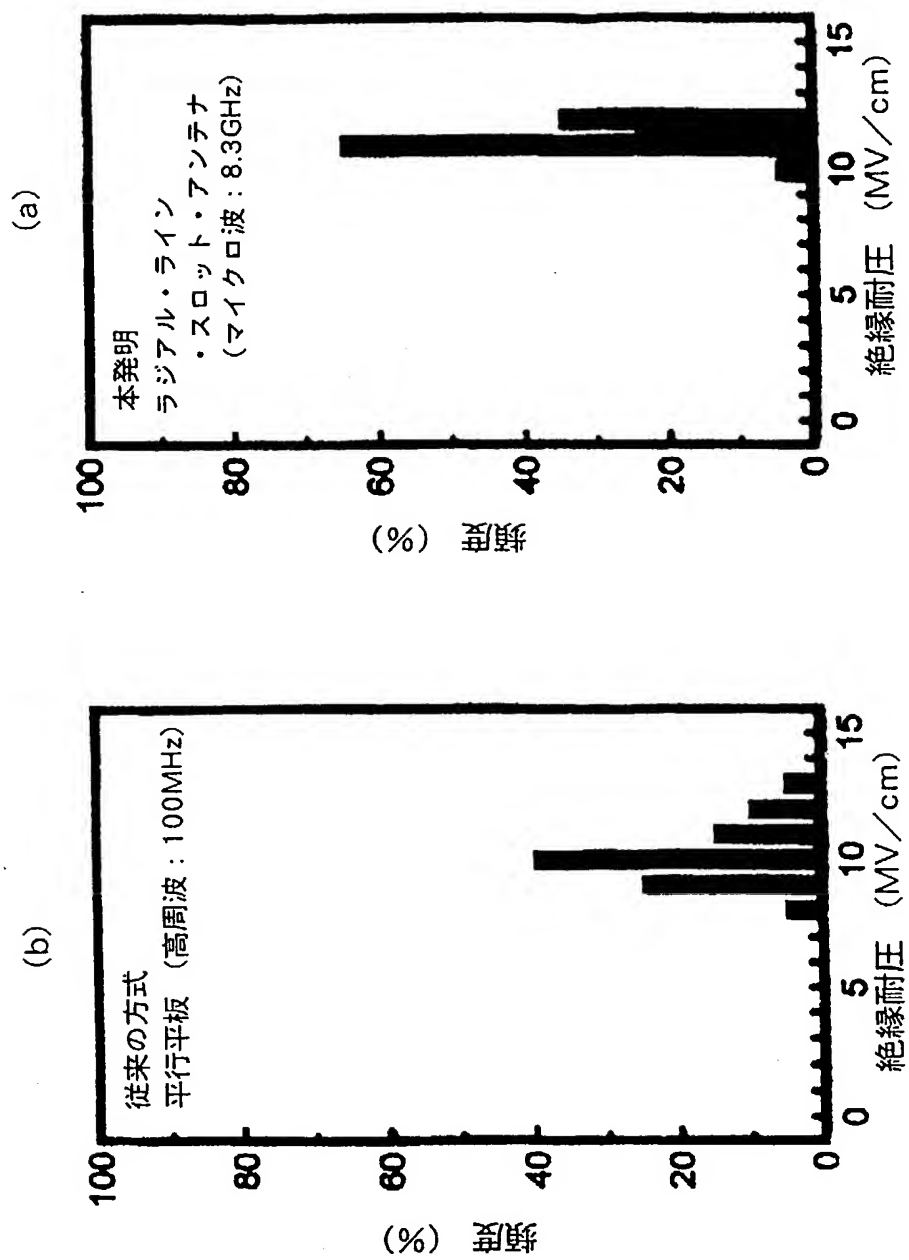
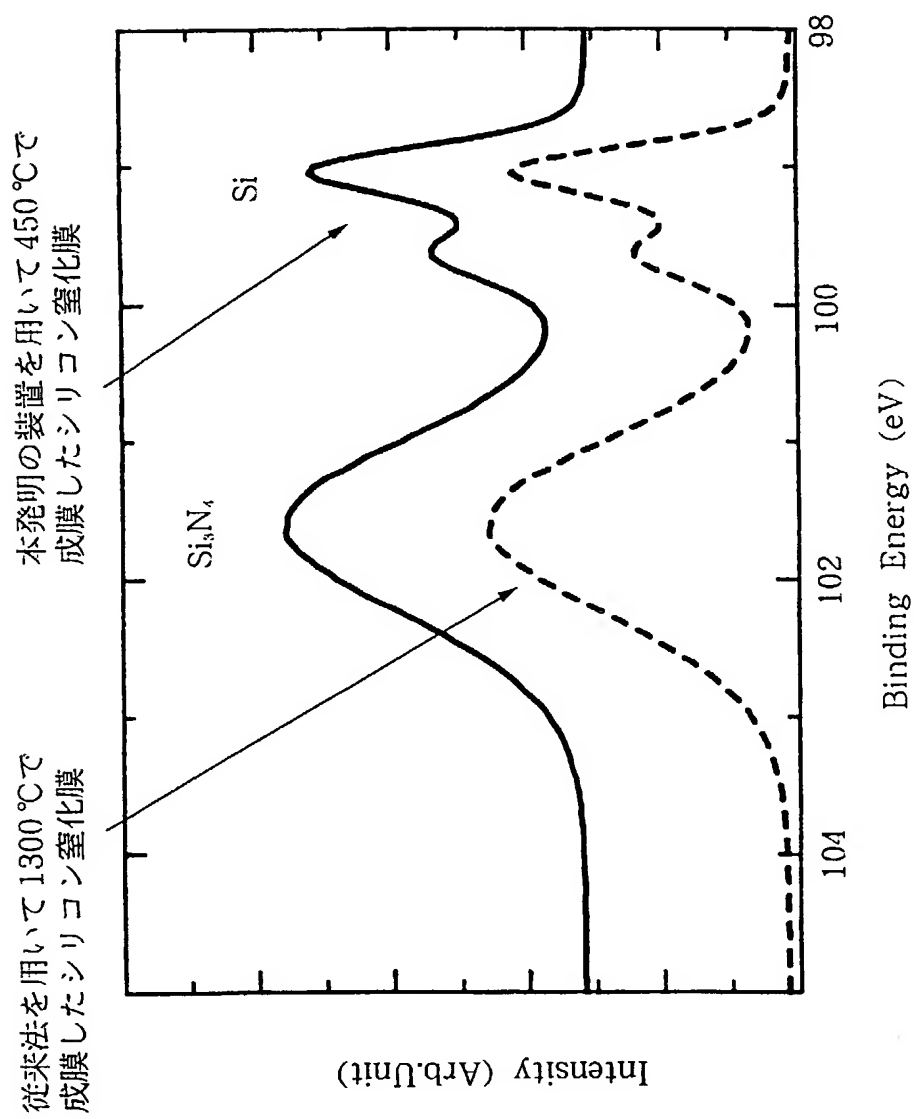


Fig. 39

38/79



F i g. 4 0

39/79

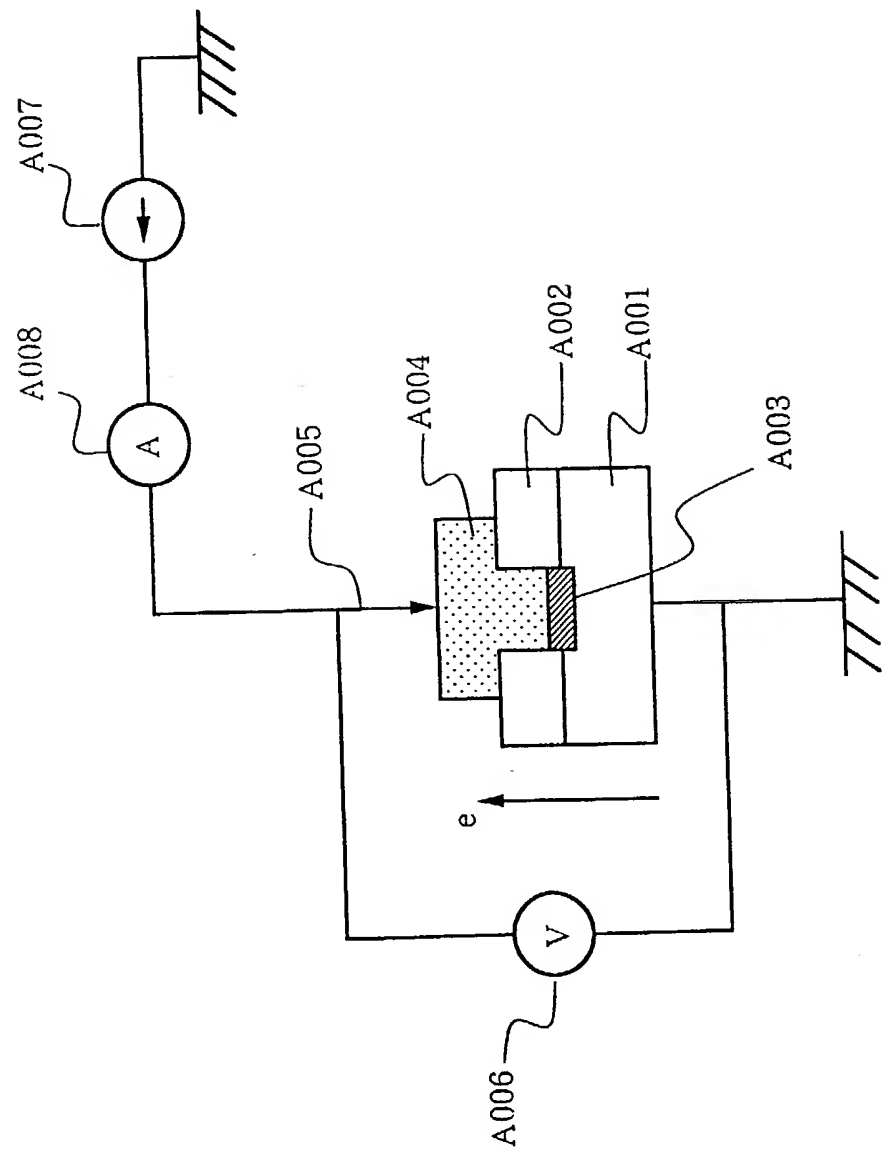


Fig. 41

40/79

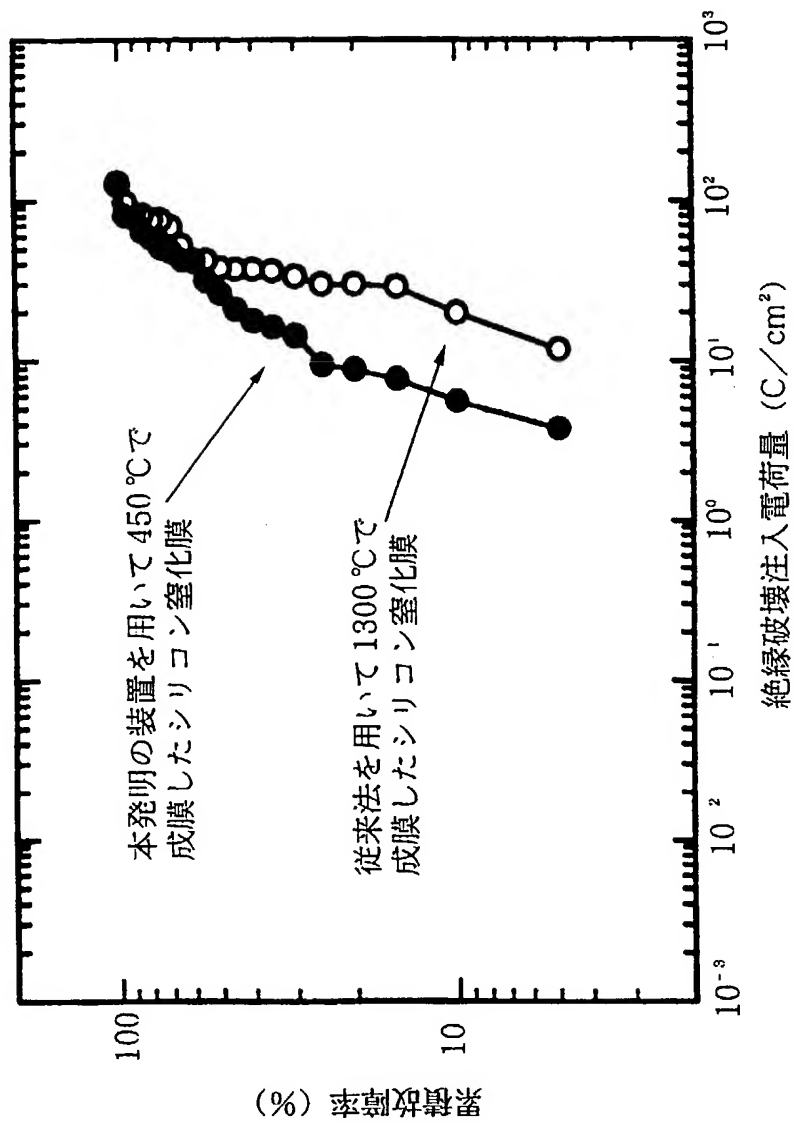
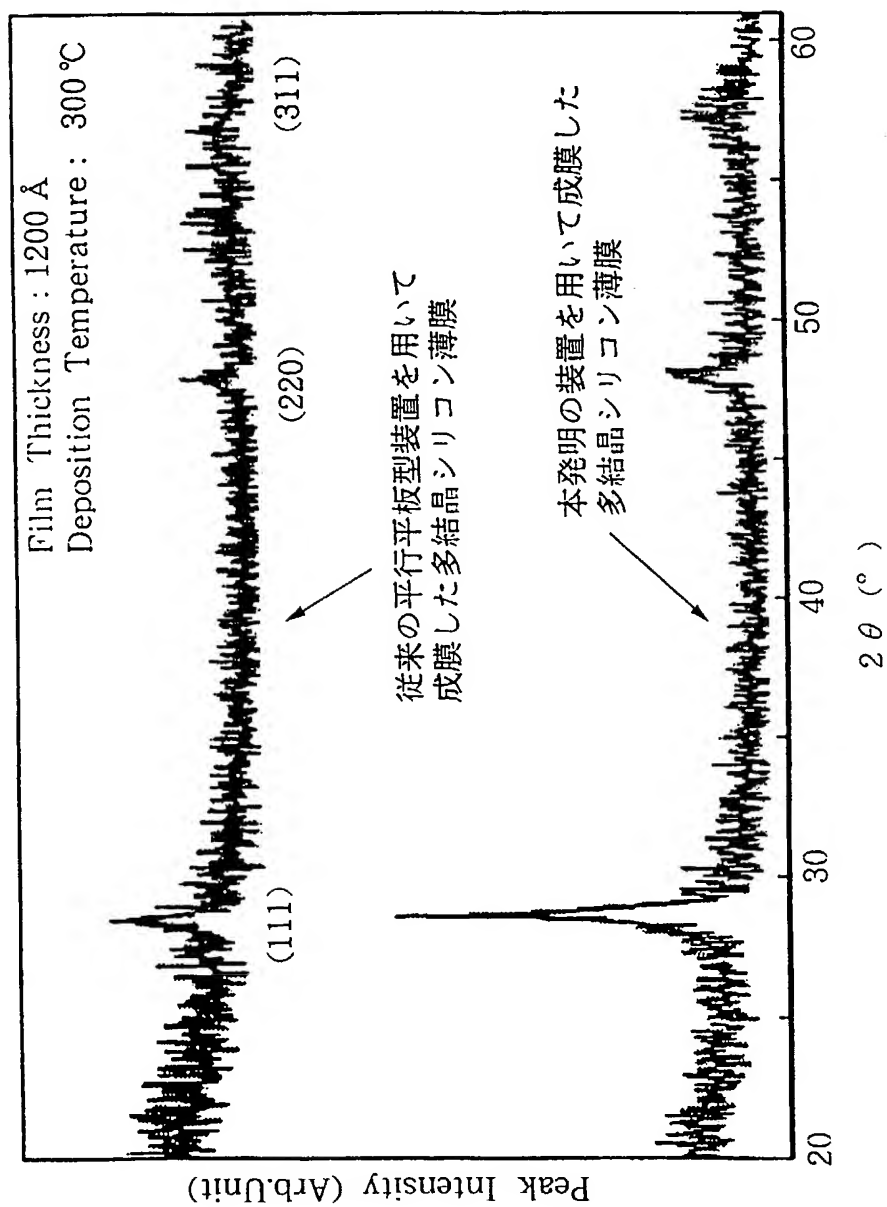


Fig. 42

41/79



42/79

Fig. 43 (a)

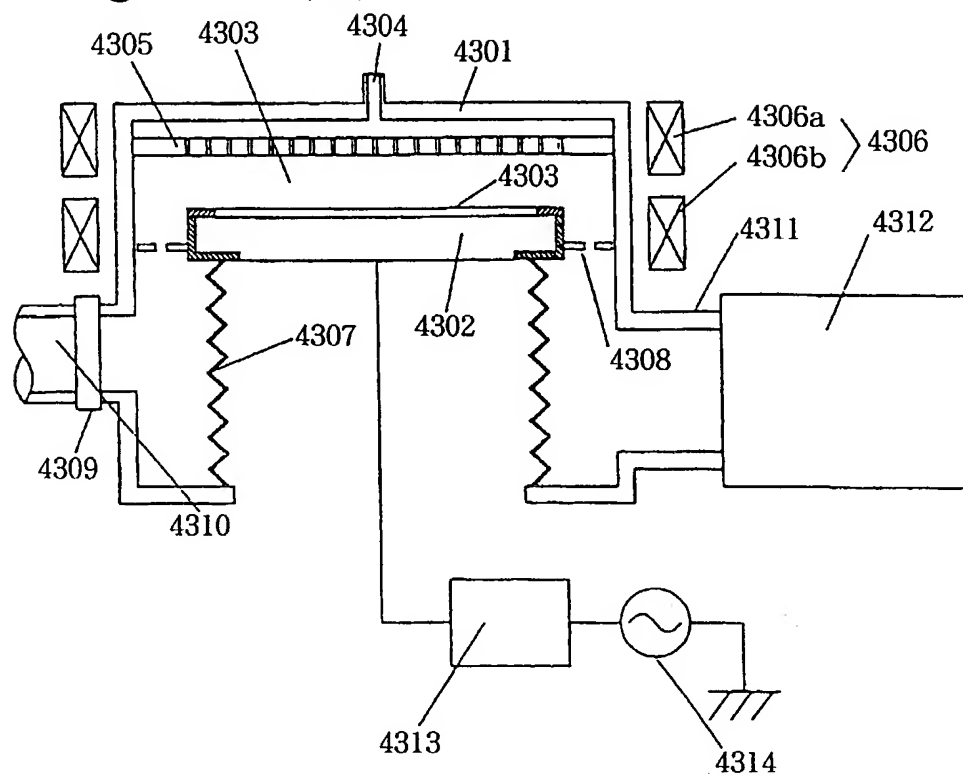
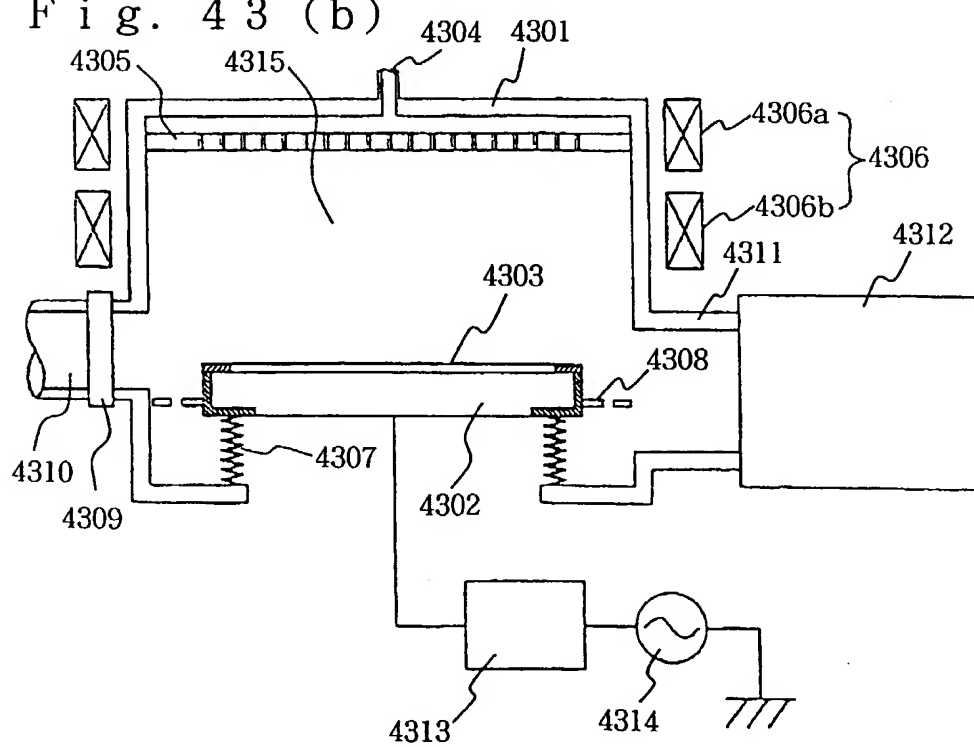
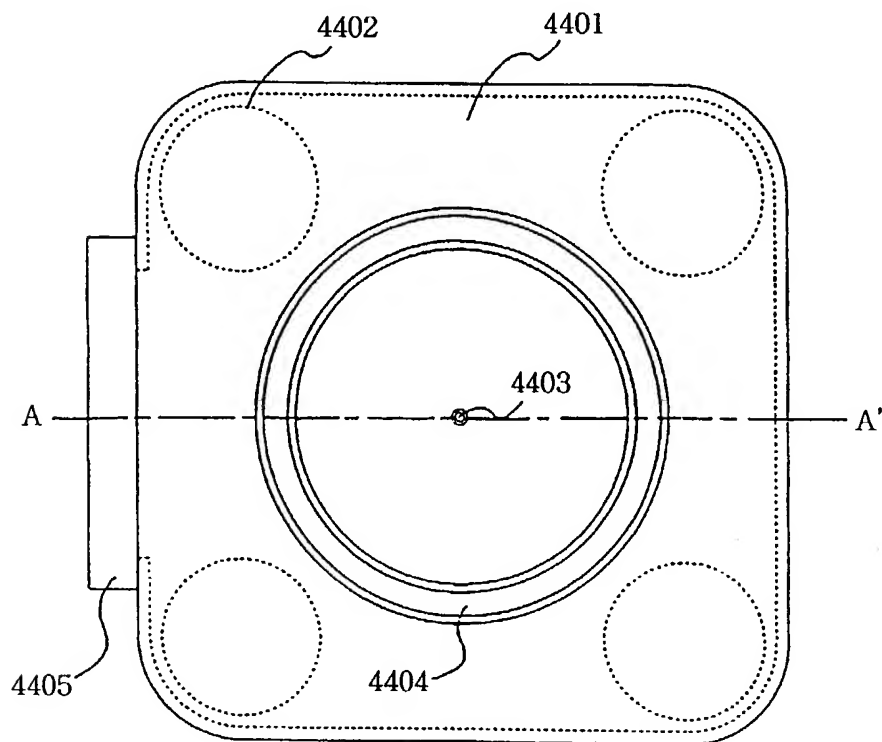


Fig. 43 (b)

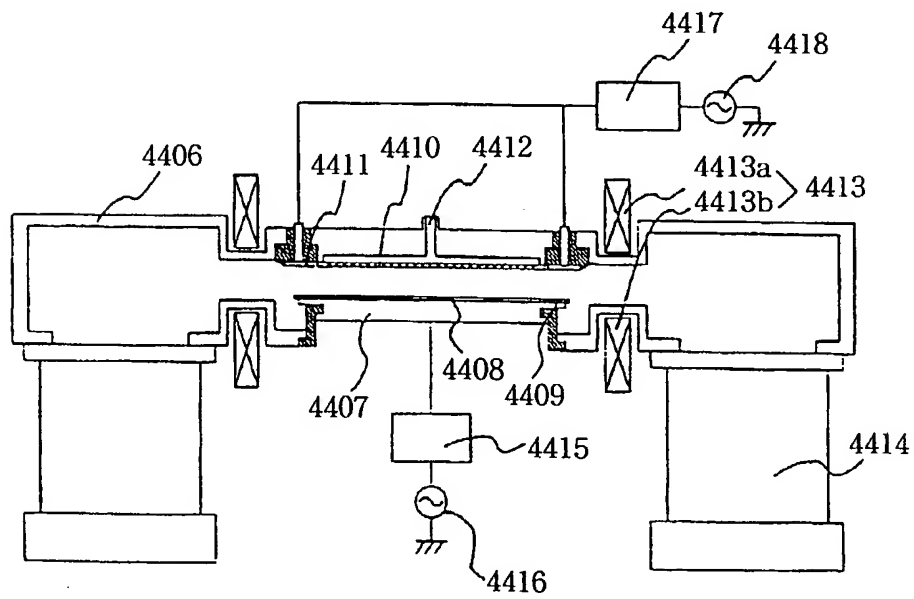


F i g. 44 (a)

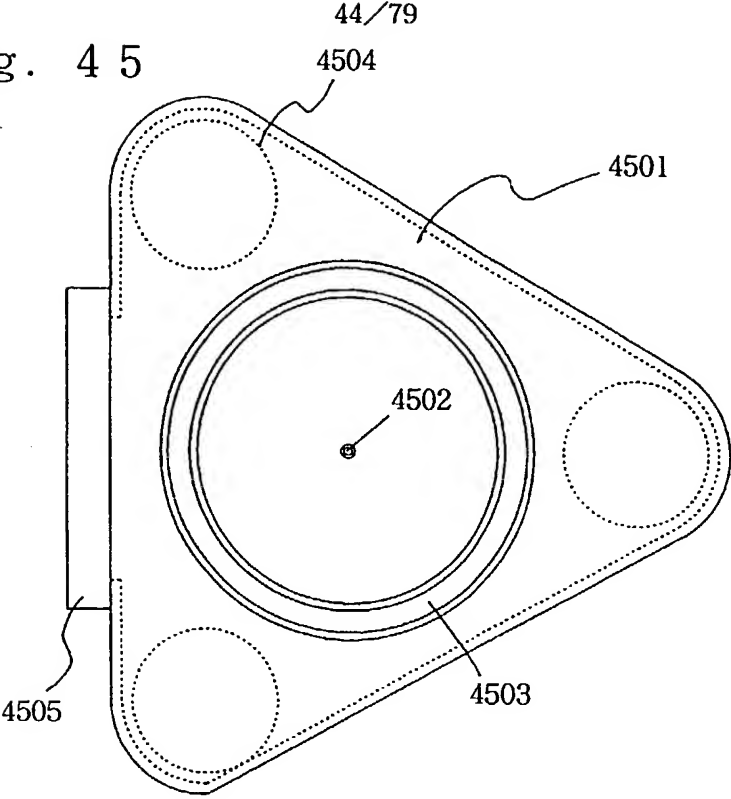
43/79



F i g . 4 4 (b)



F i g. 4 5



F i g. 4 6

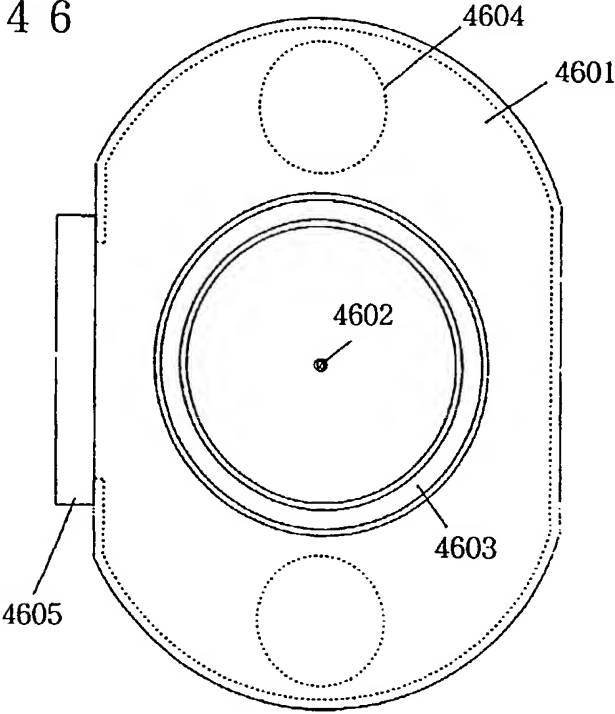
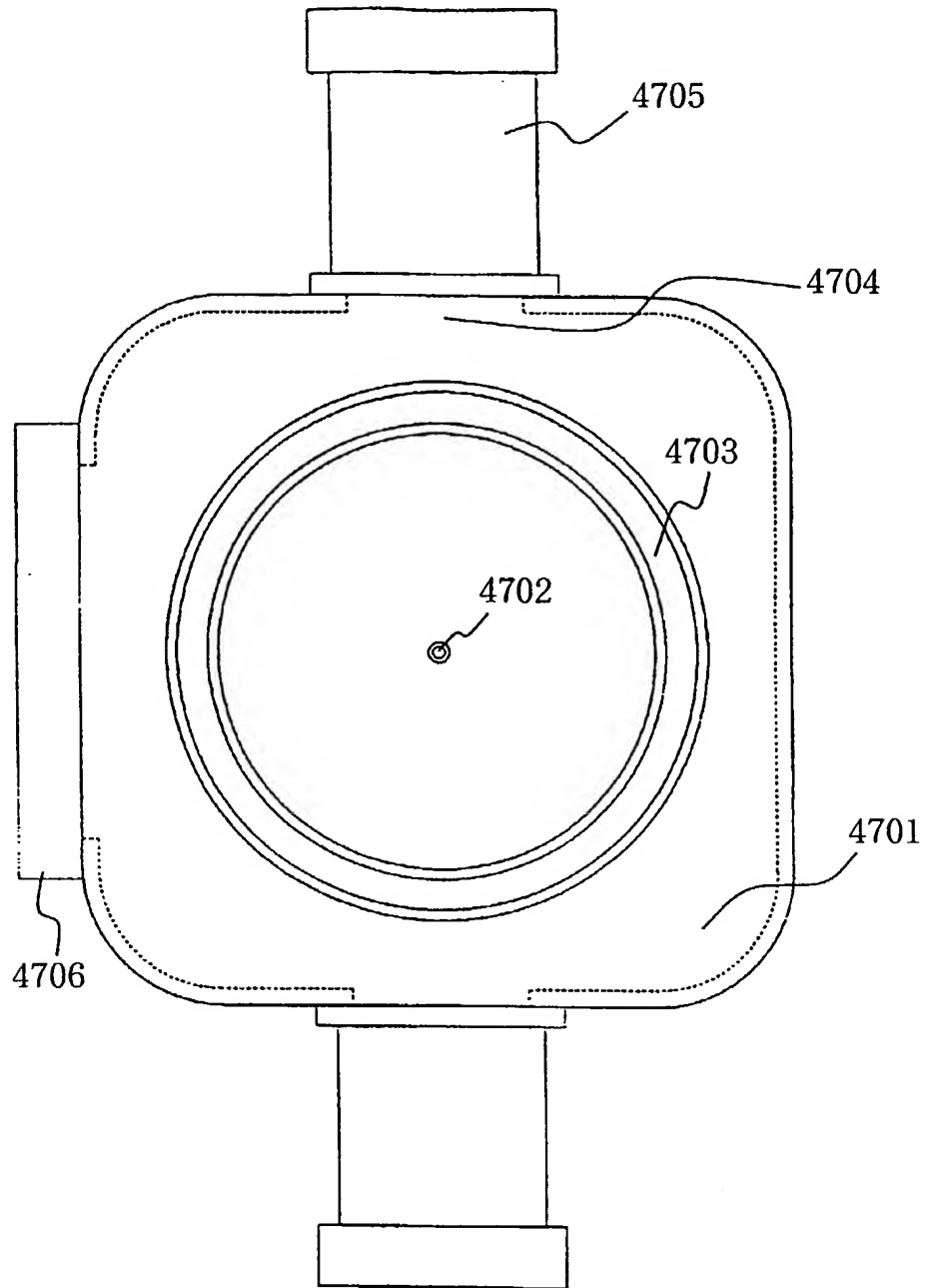


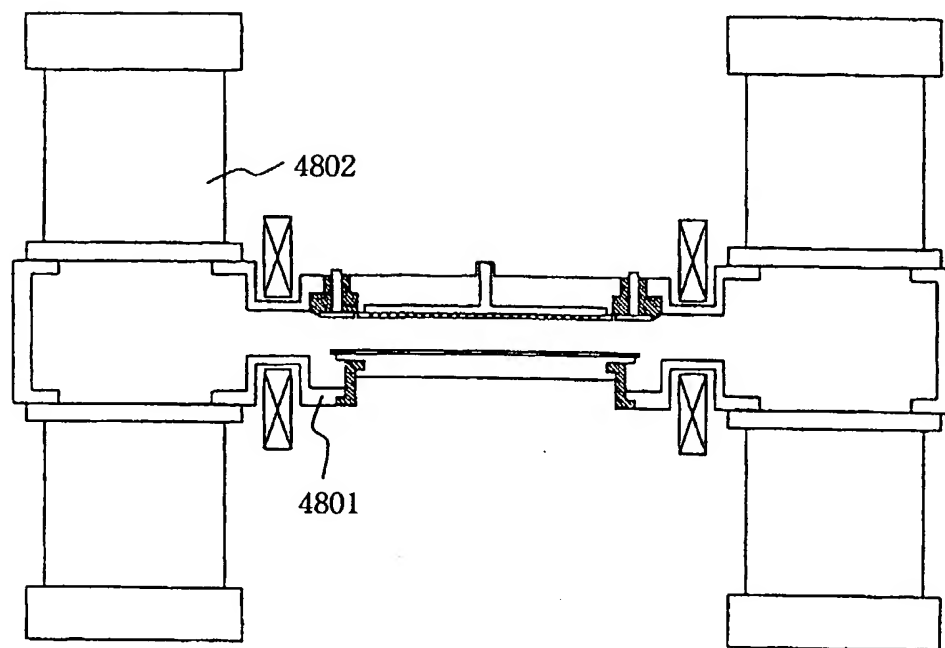
Fig. 47

45/79



F i g. 4 8

46/79



F i g. 4 9

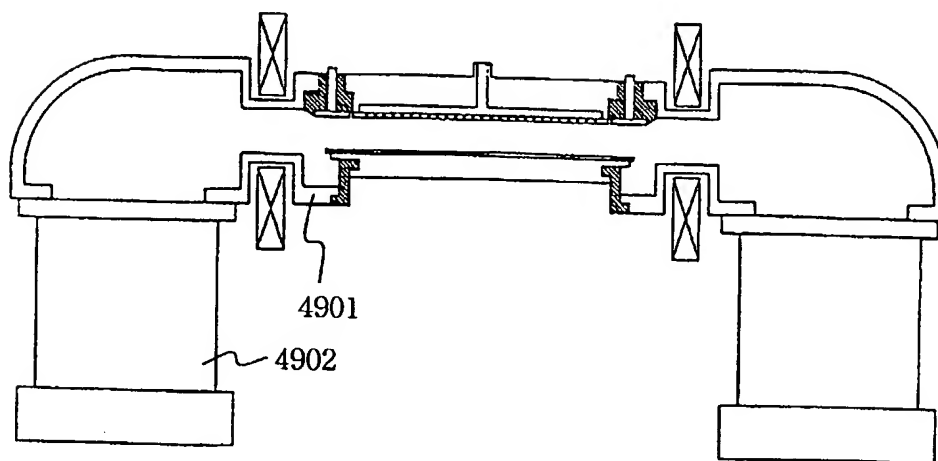


Fig. 50

47/79

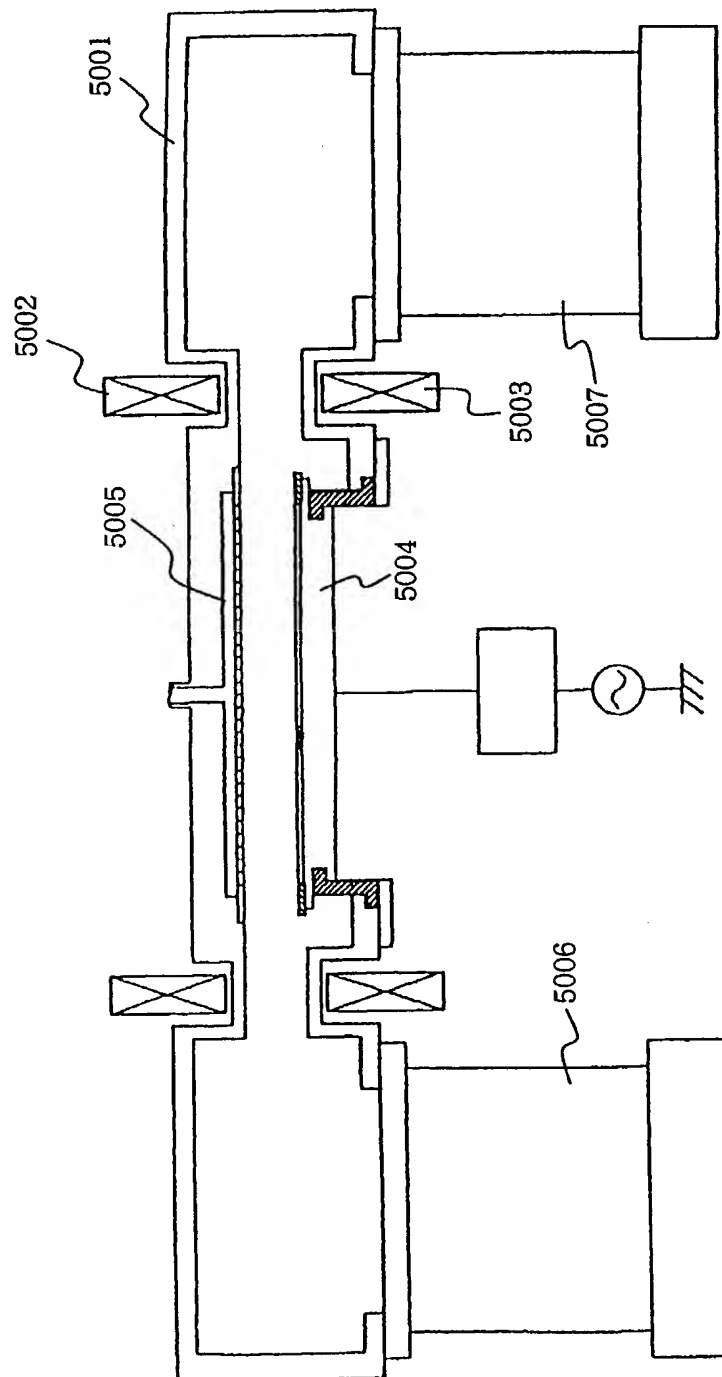


Fig. 51

48/79

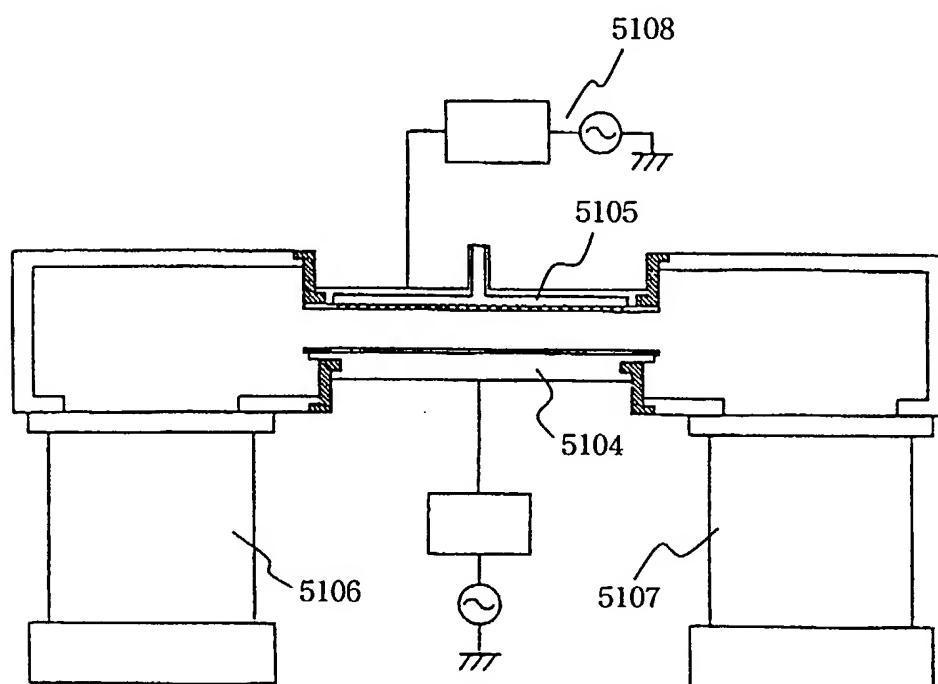
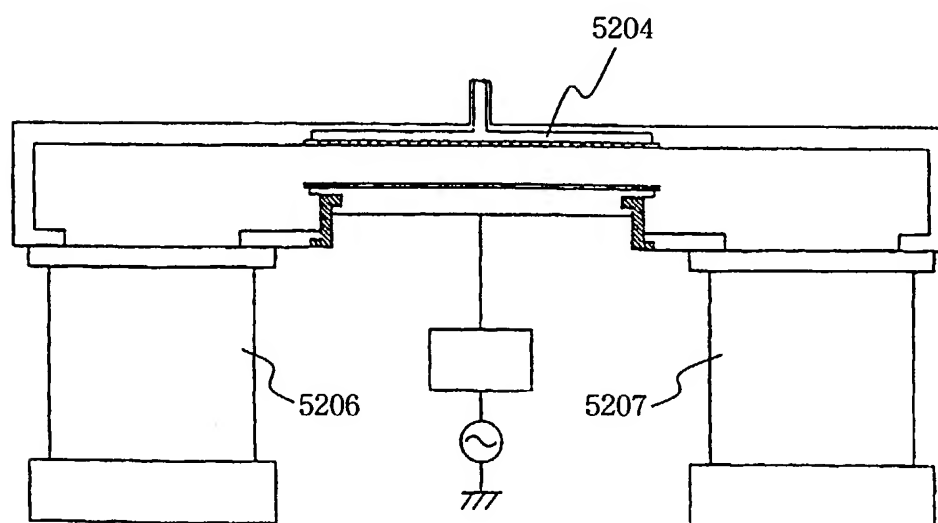


Fig. 52



F i g . 5 3

49/79

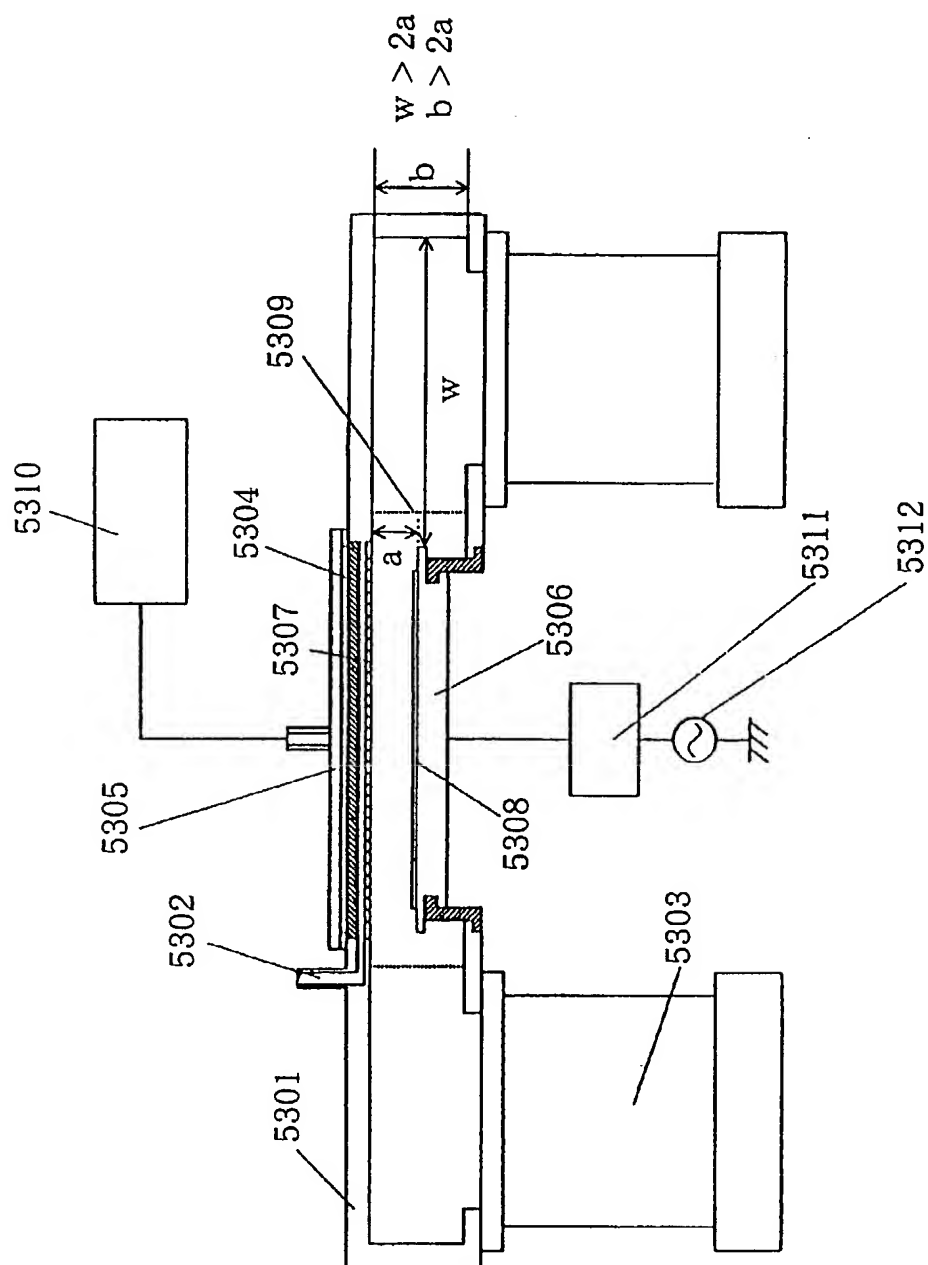
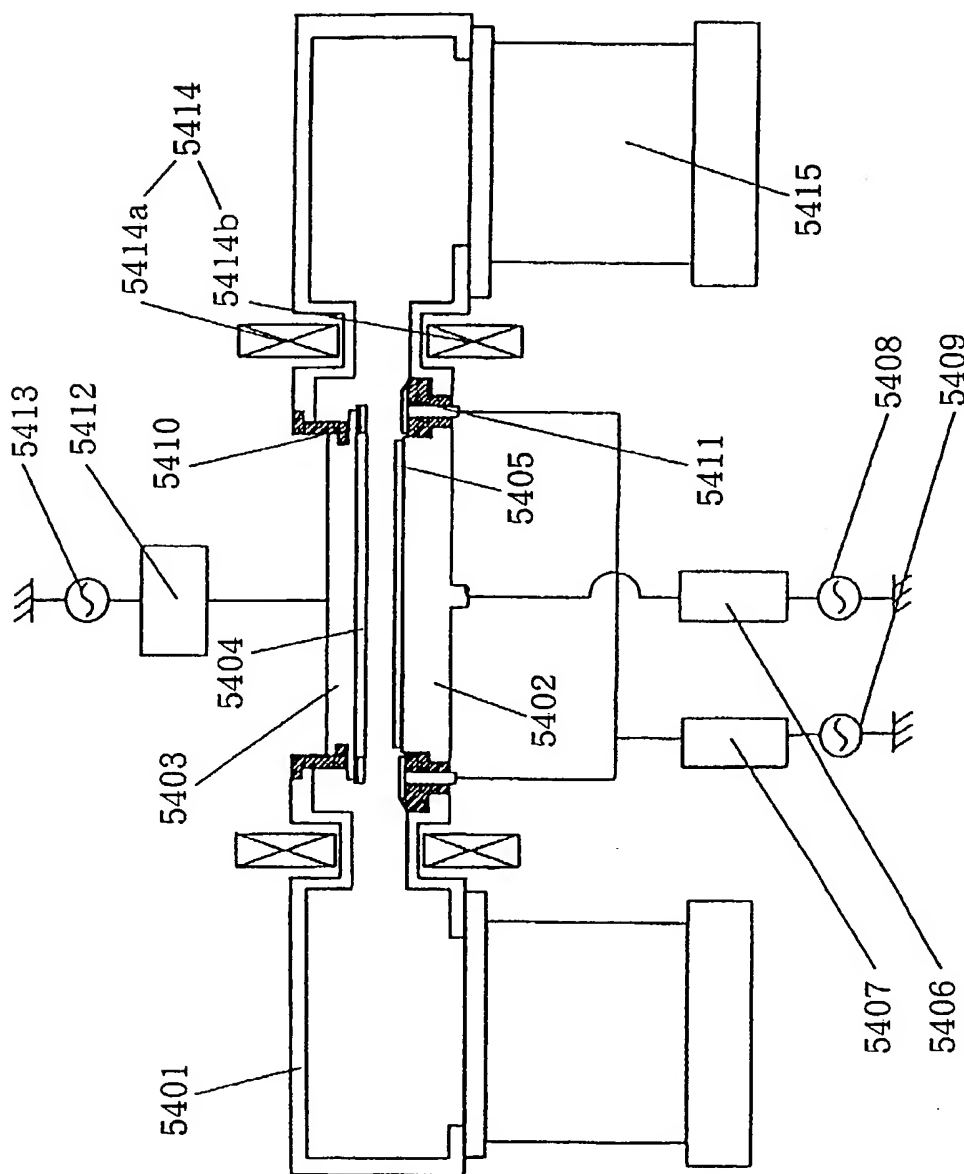


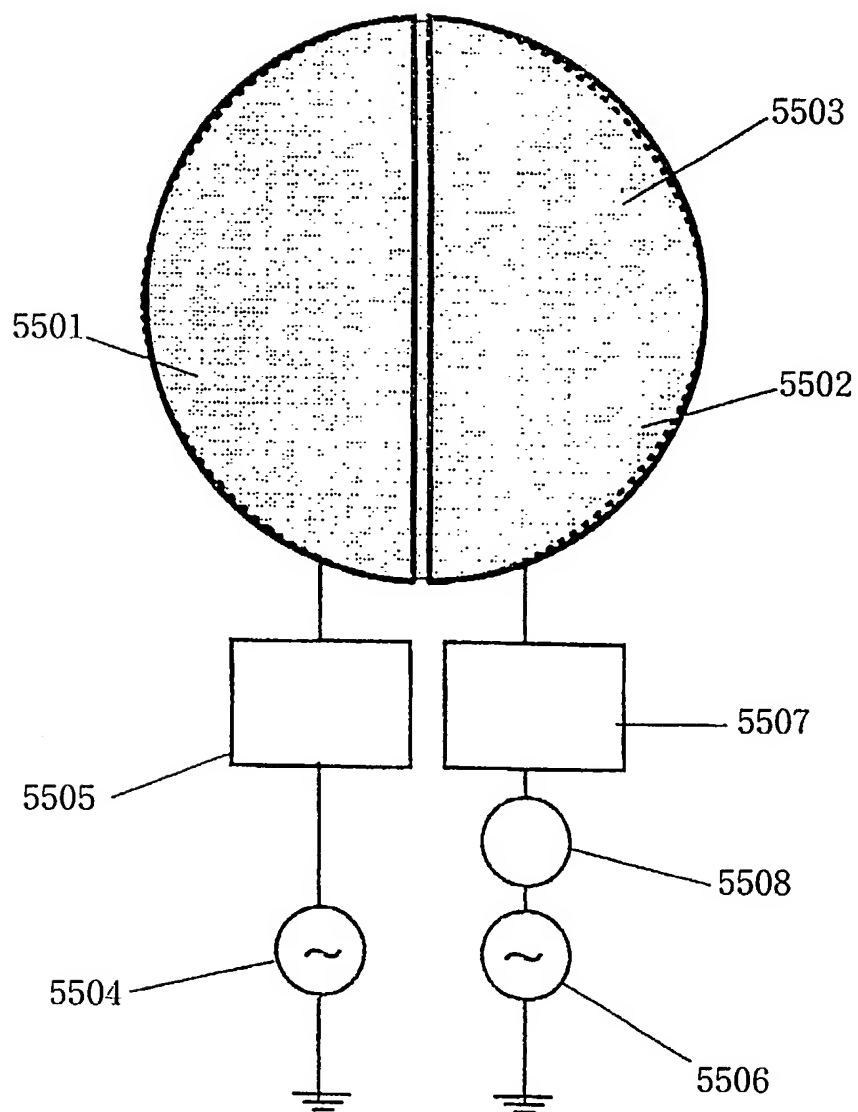
Fig. 54

50/79



F i g . 5 5

51/79



F i g. 5 6

52/79

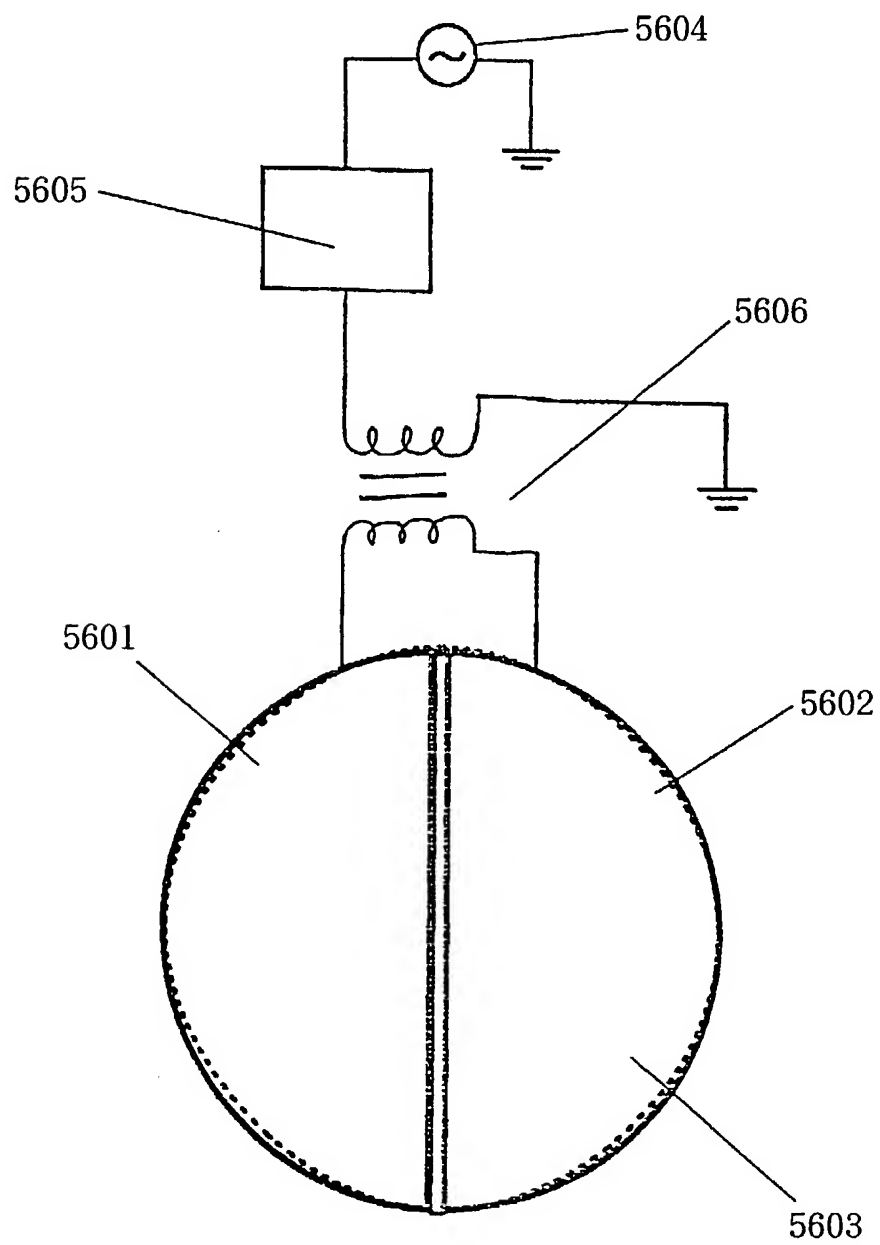


Fig. 57

53/79

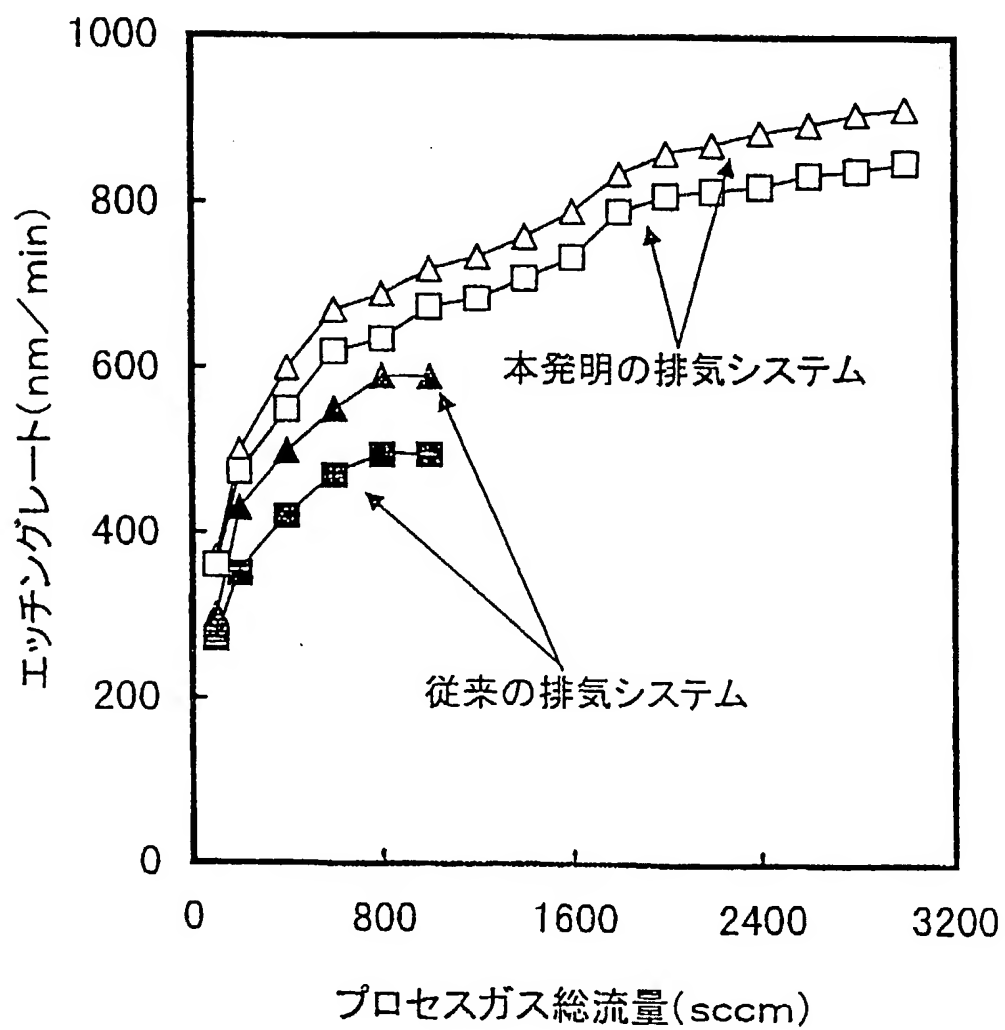


Fig. 58

54/79

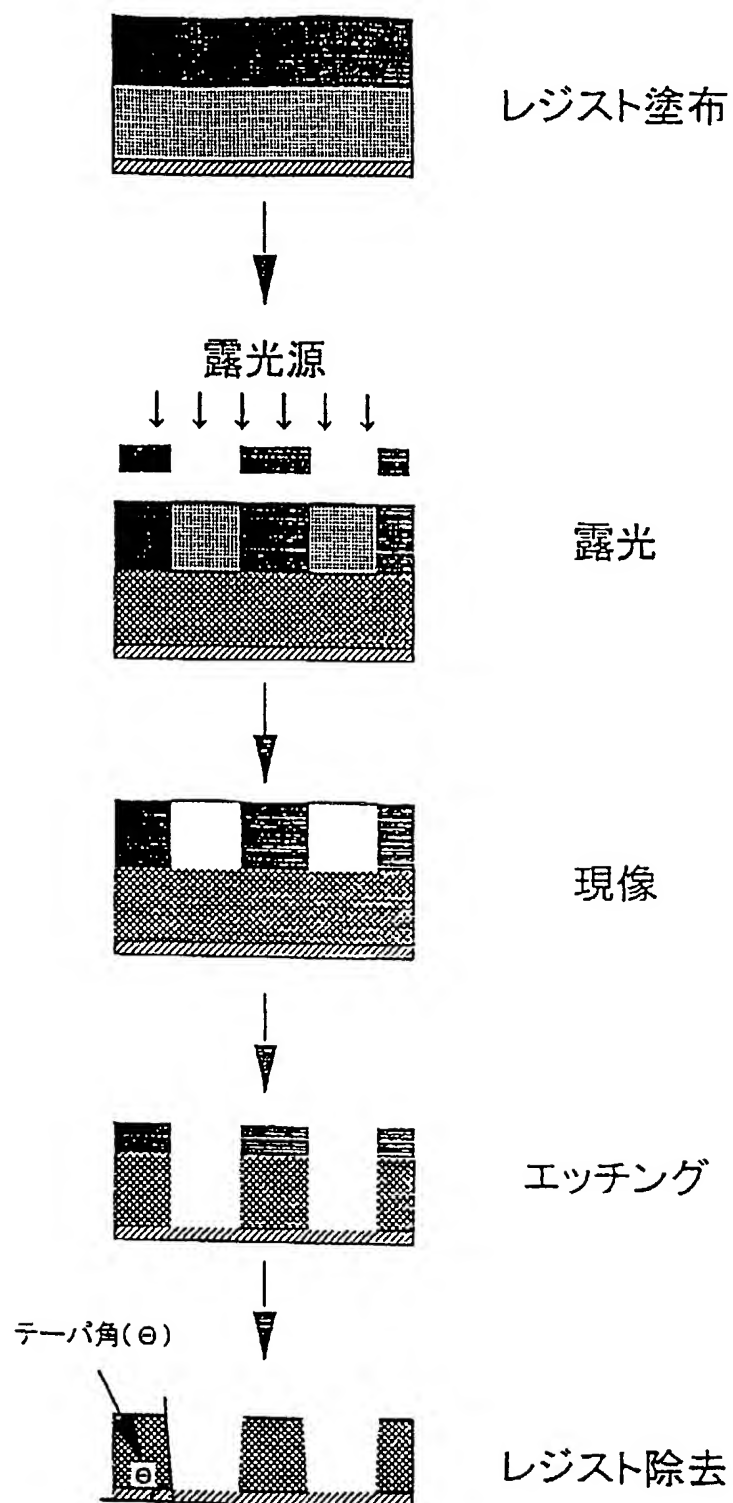


Fig. 59

55/79

スパッタリング条件：圧力10 (mTorr)

Arガス流量1.5 (slm)

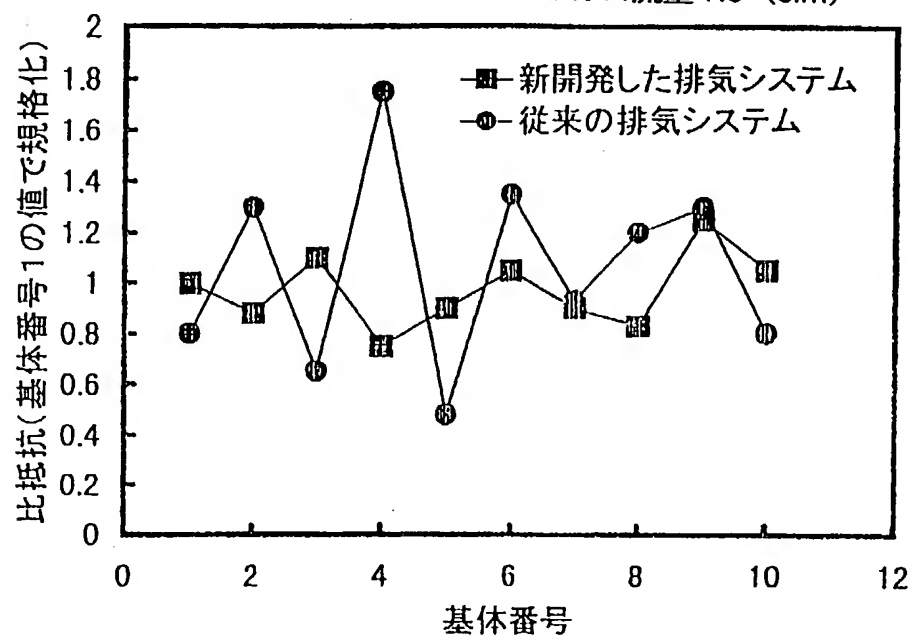


Fig. 60

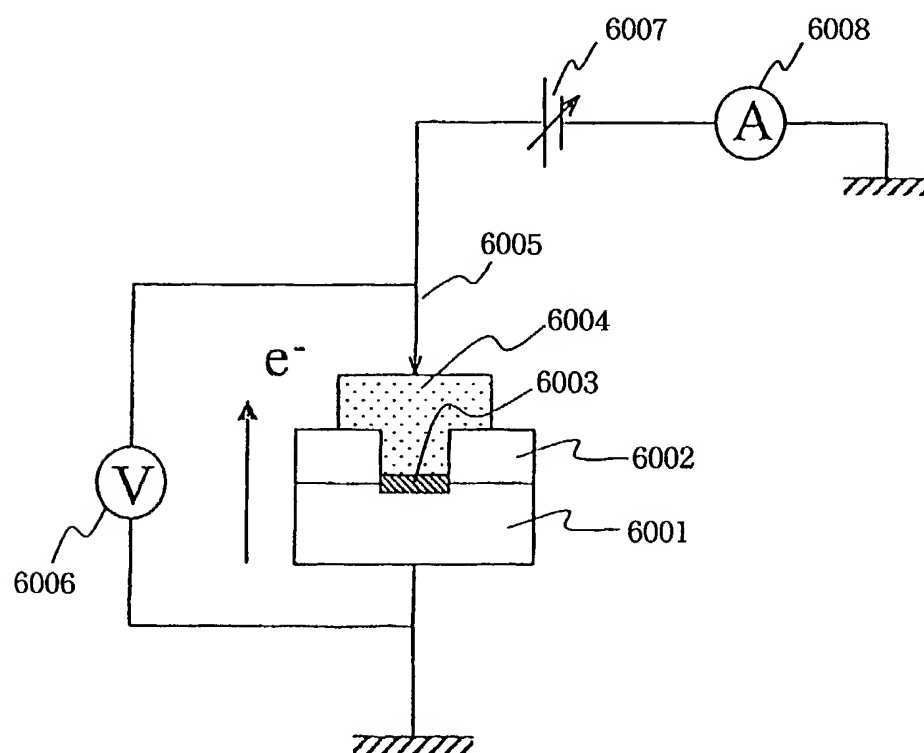
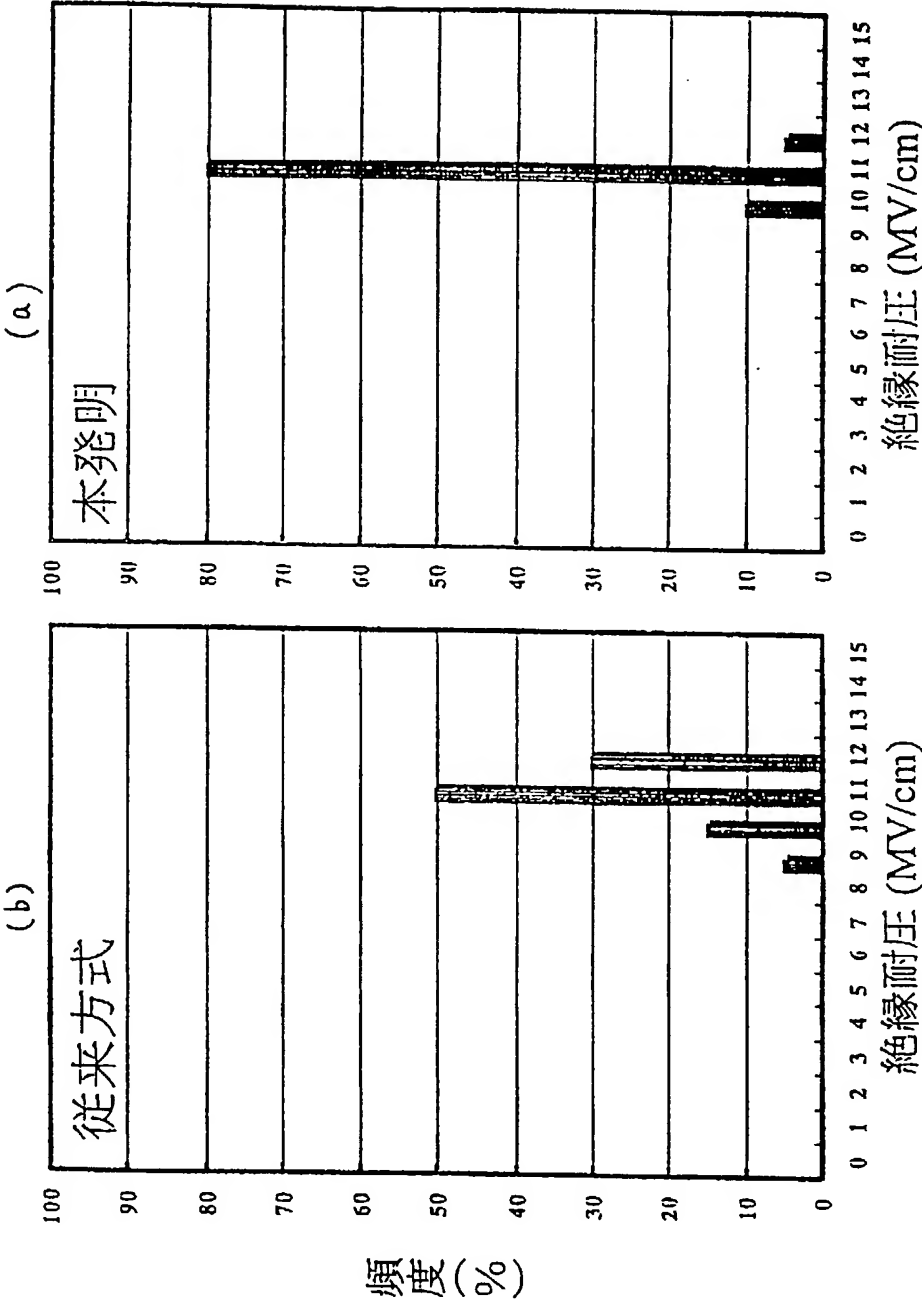
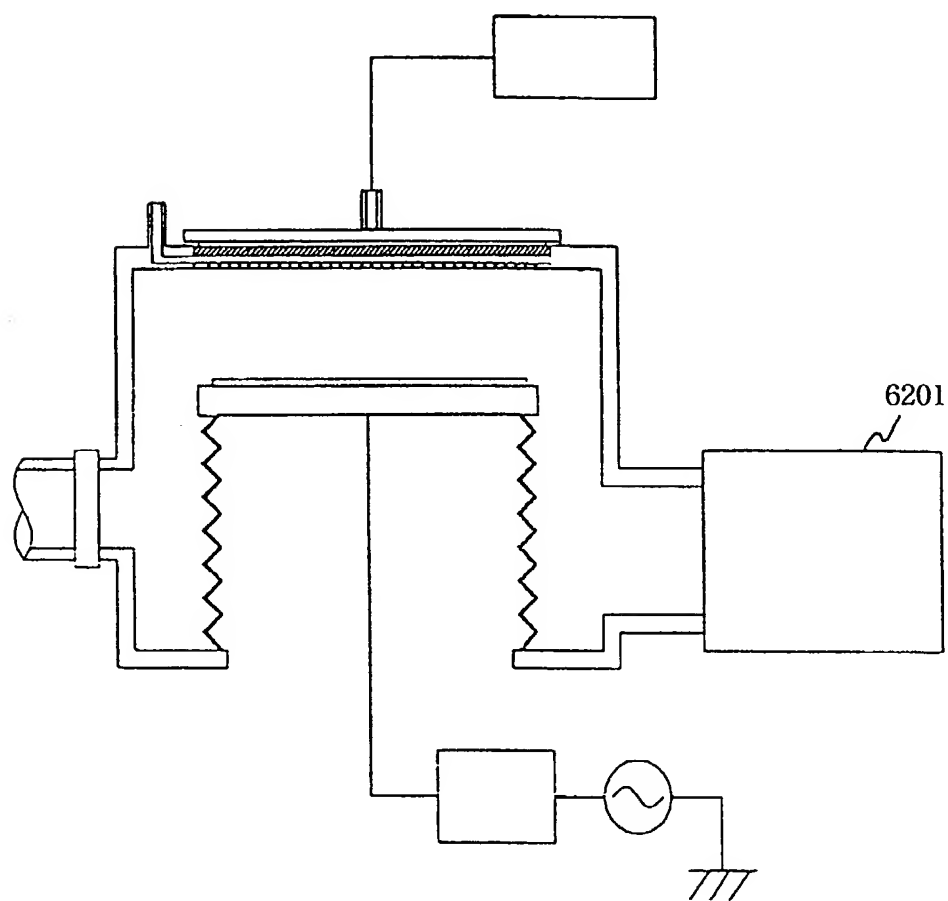


Fig. 61



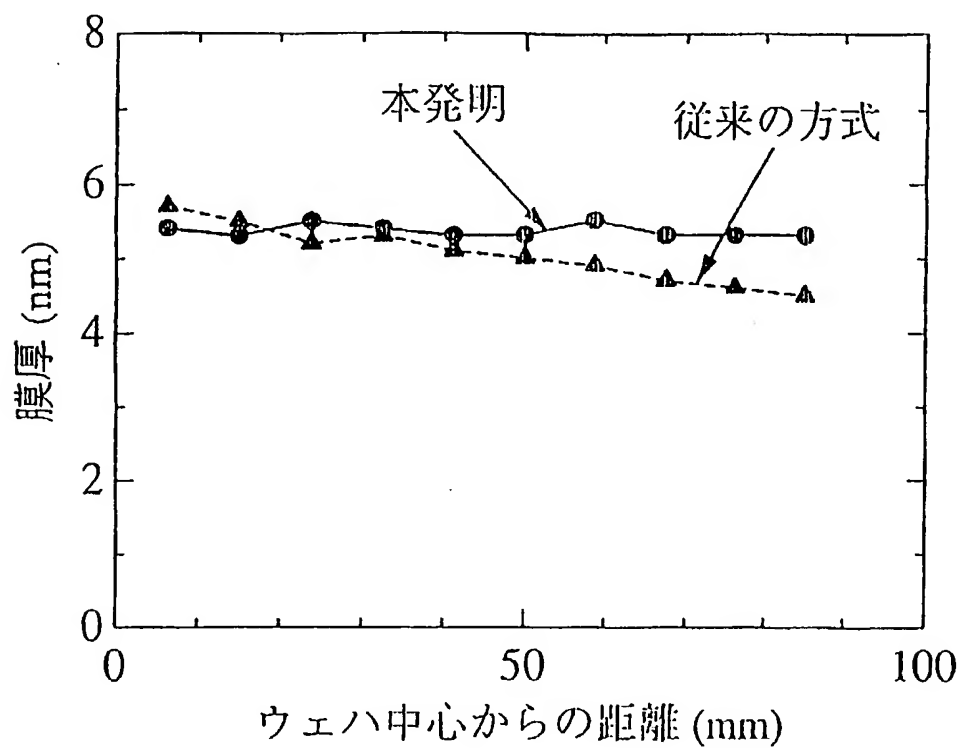
F i g. 6 2

57/79



F i g . 6 3

58/79



F i g . 6 4

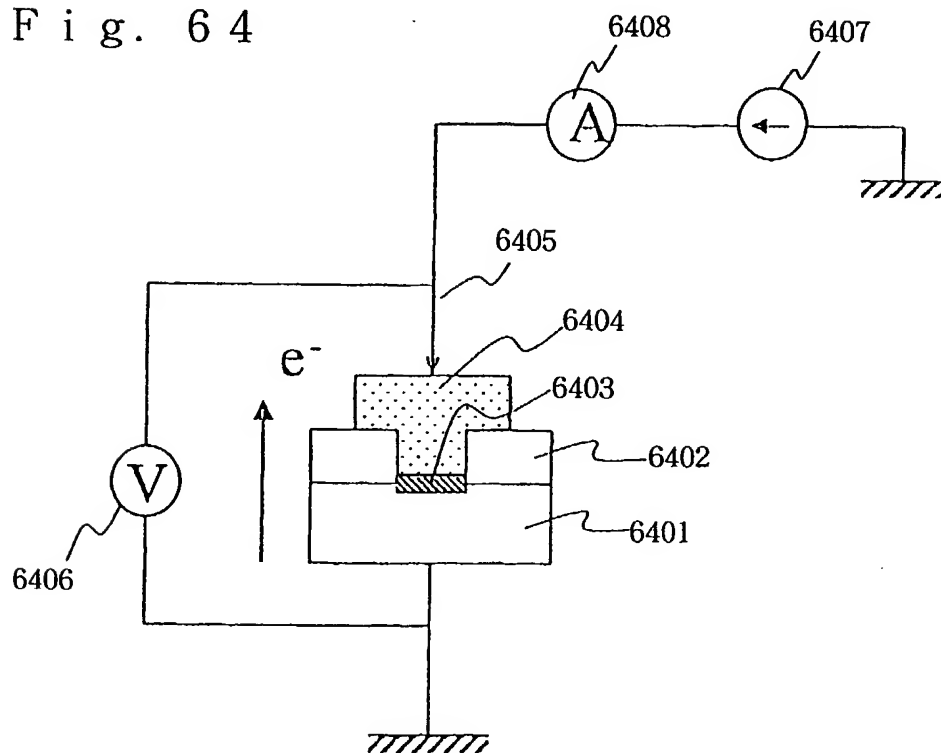


Fig. 65

59/79

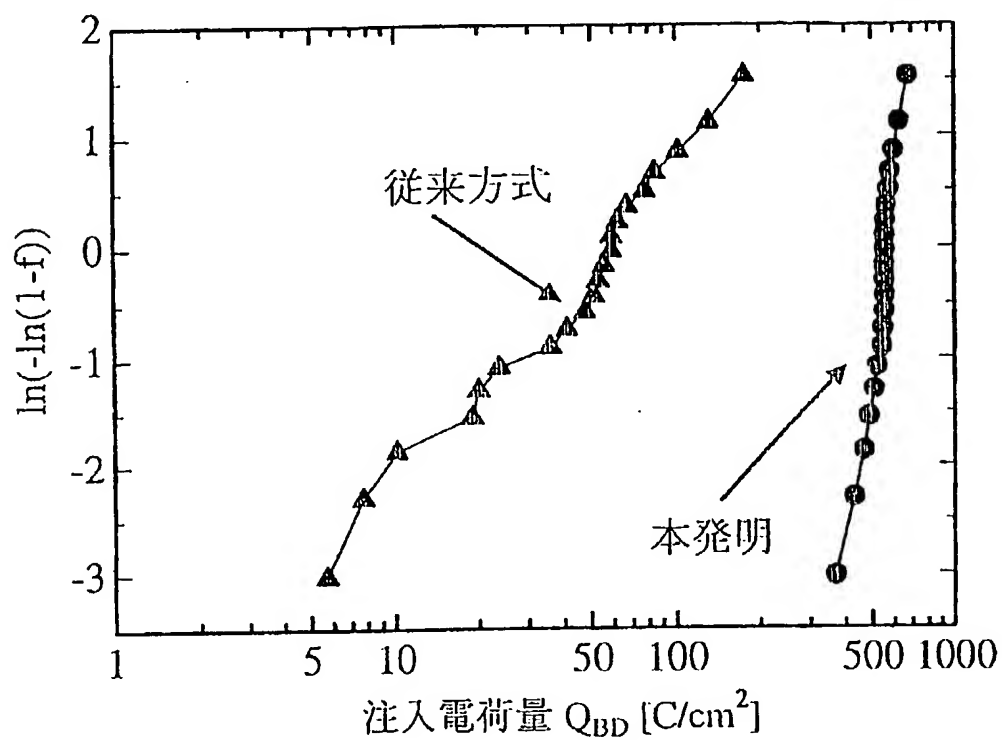


Fig. 66

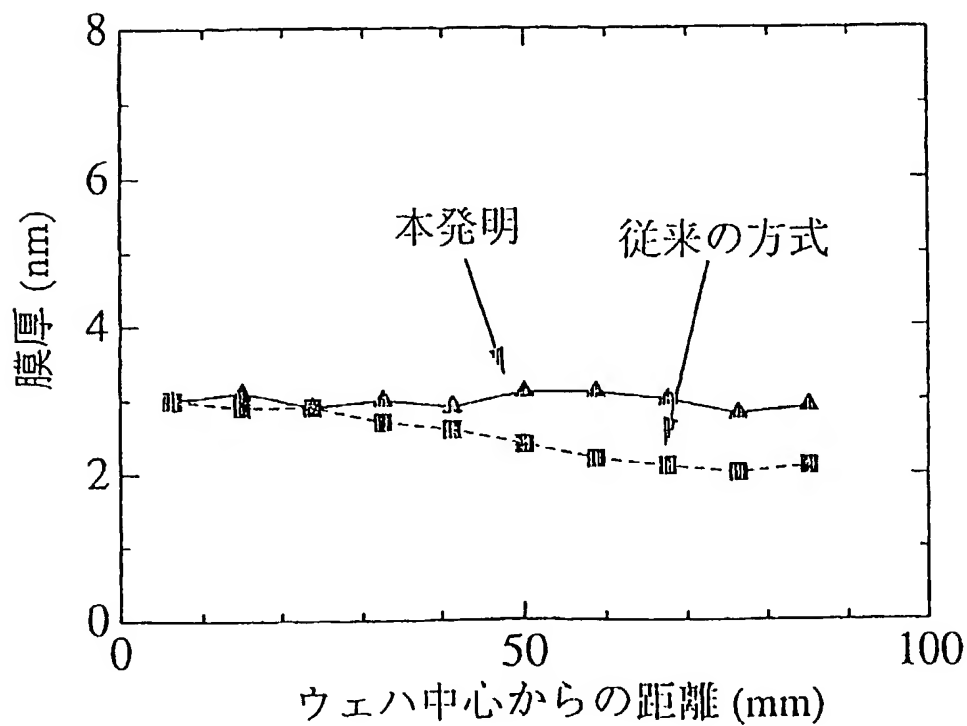


Fig. 67

60/79

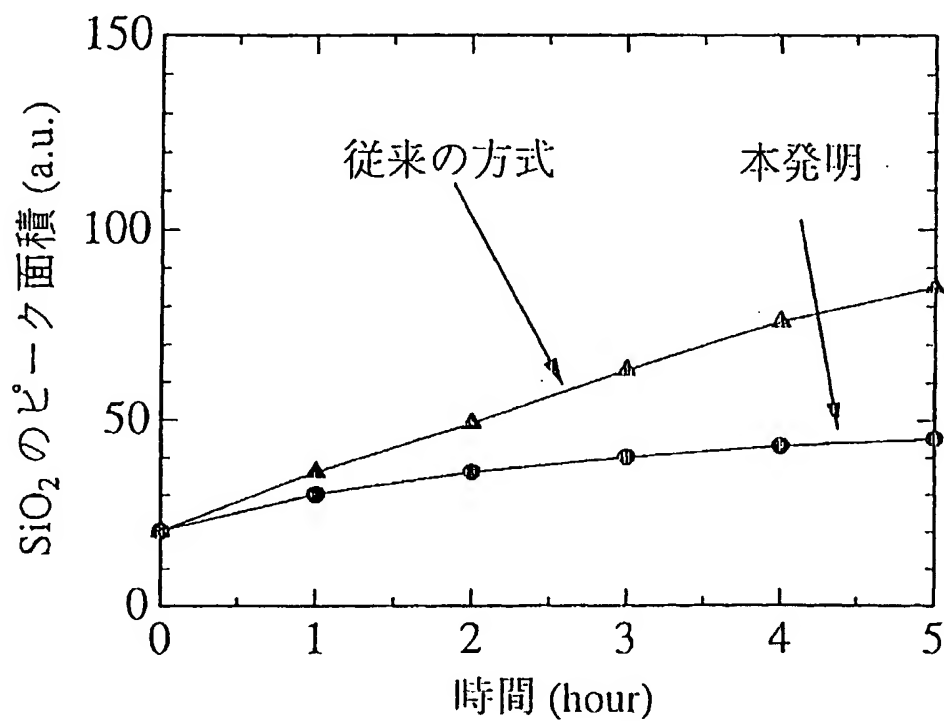


Fig. 68

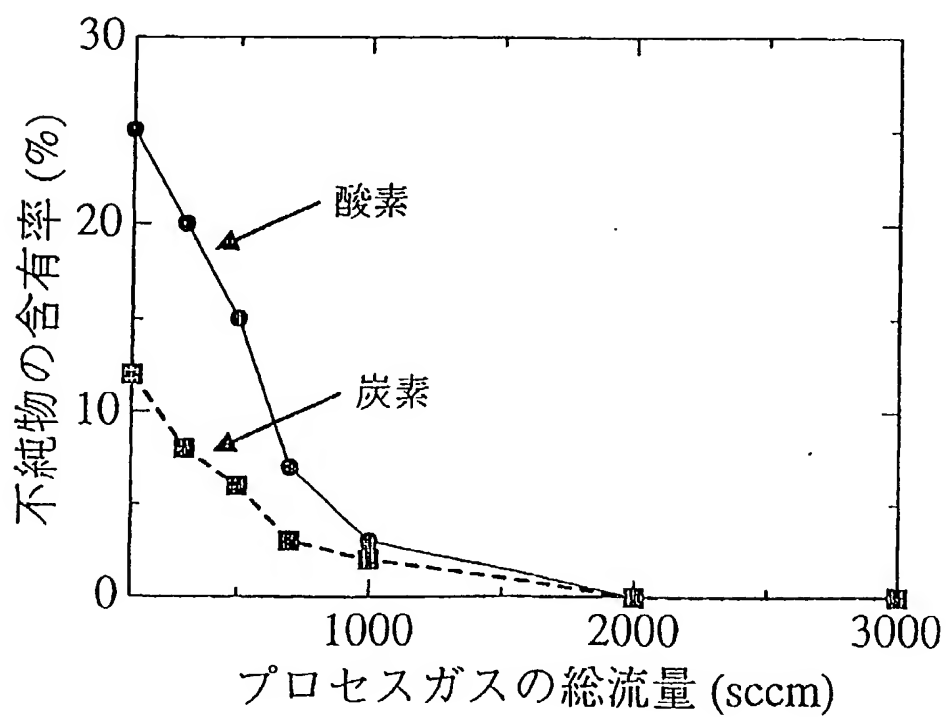


Fig. 69

61/79

X線リソグラフィ用マスク

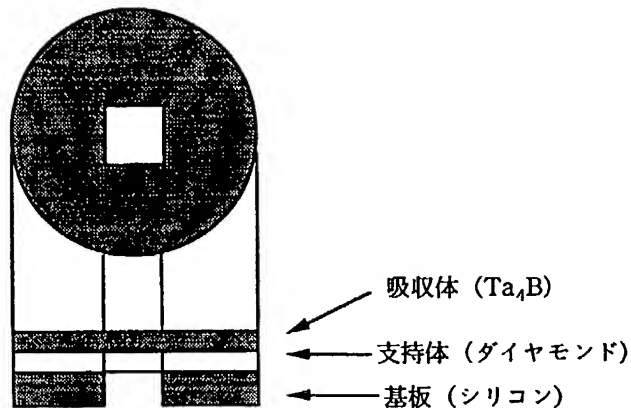


Fig. 70

透過率測定系

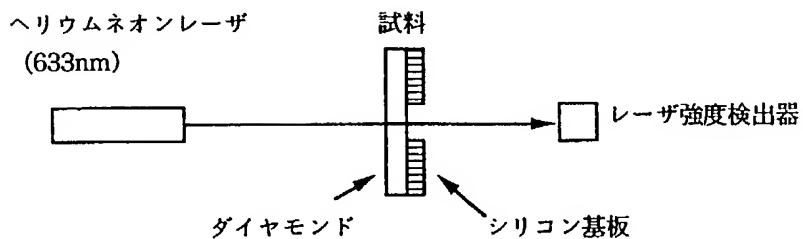


Fig. 71

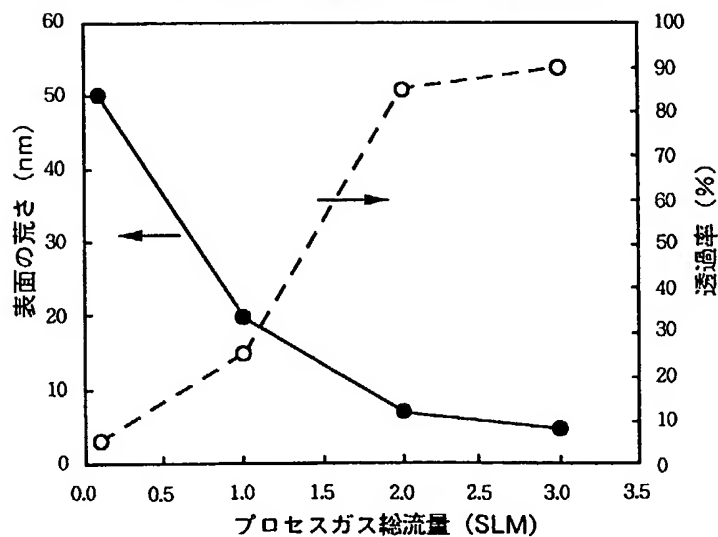
ダイヤモンド薄膜 ($2\mu m$) の評価結果

Fig. 72

62/79

多結晶シリコン薄膜の表面ラフネスのトータル
流量依存性

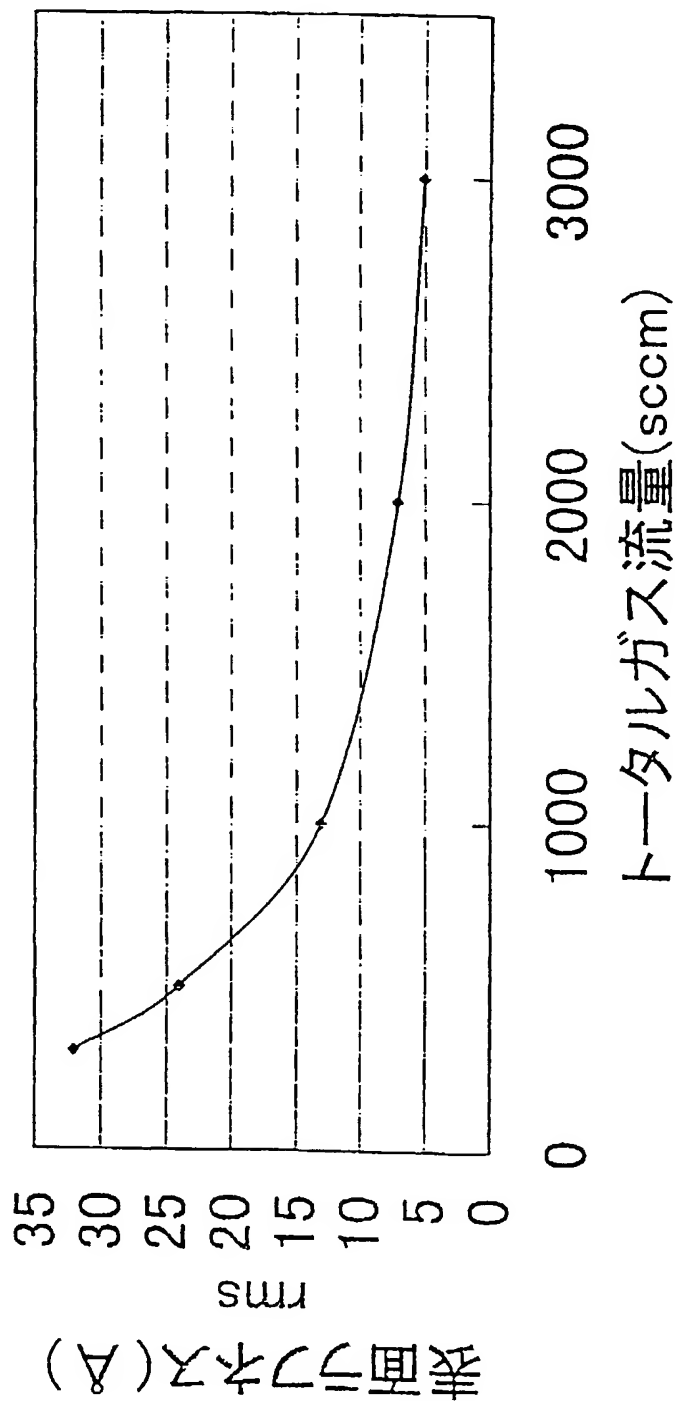


Fig. 73

63/79

多結晶シリコン薄膜のガラス基板面内均一性
のトータルガス流量依存性

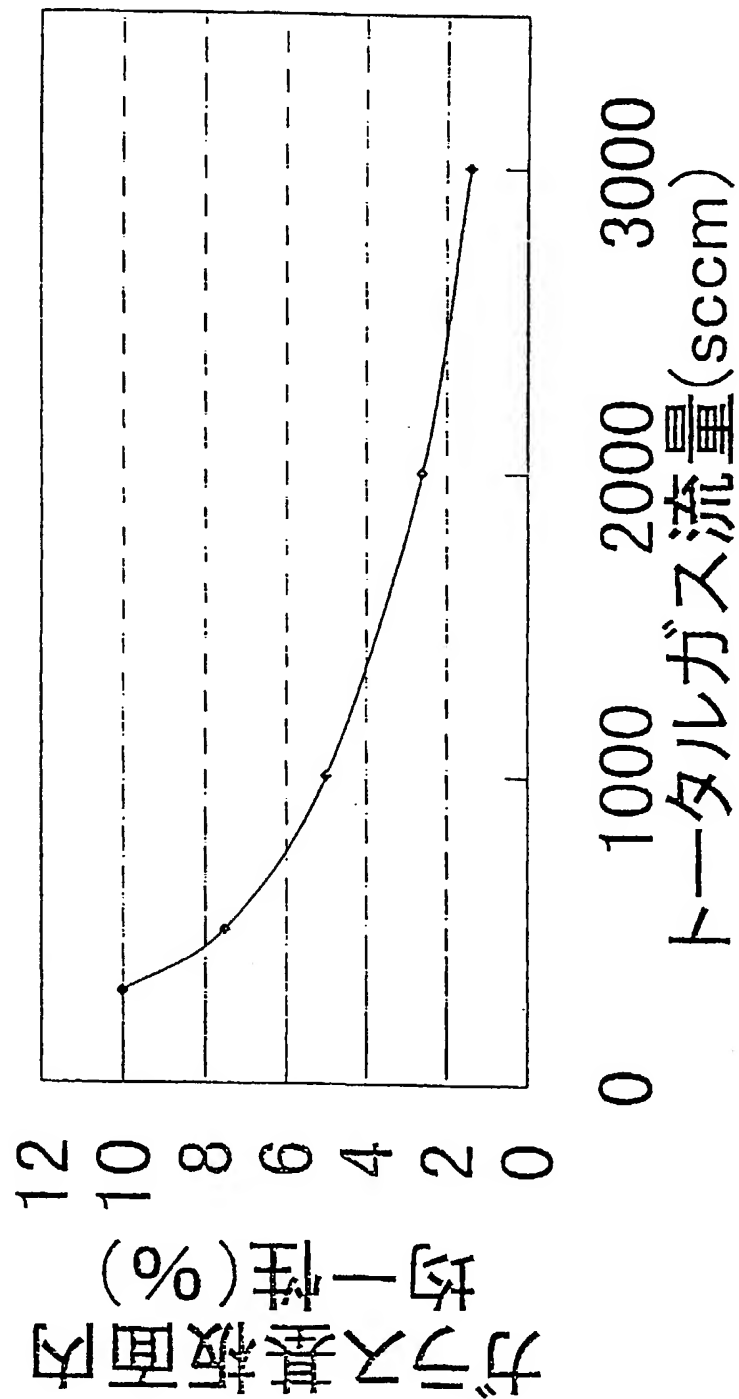


Fig. 74

64/79

多結晶シリコンの結晶子サイズのトータルガス
流量依存性

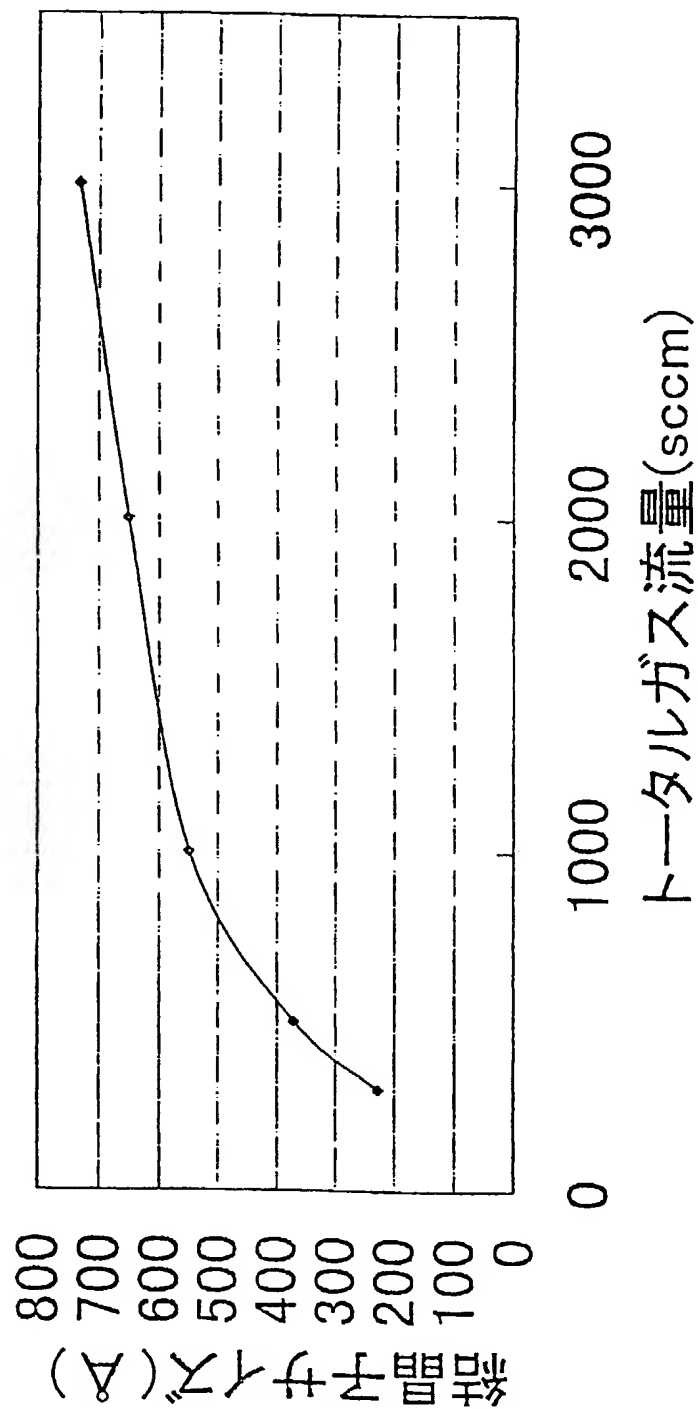


Fig. 75

65/79

多結晶シリコン膜の膜中水素量のトータルガス
流量依存性

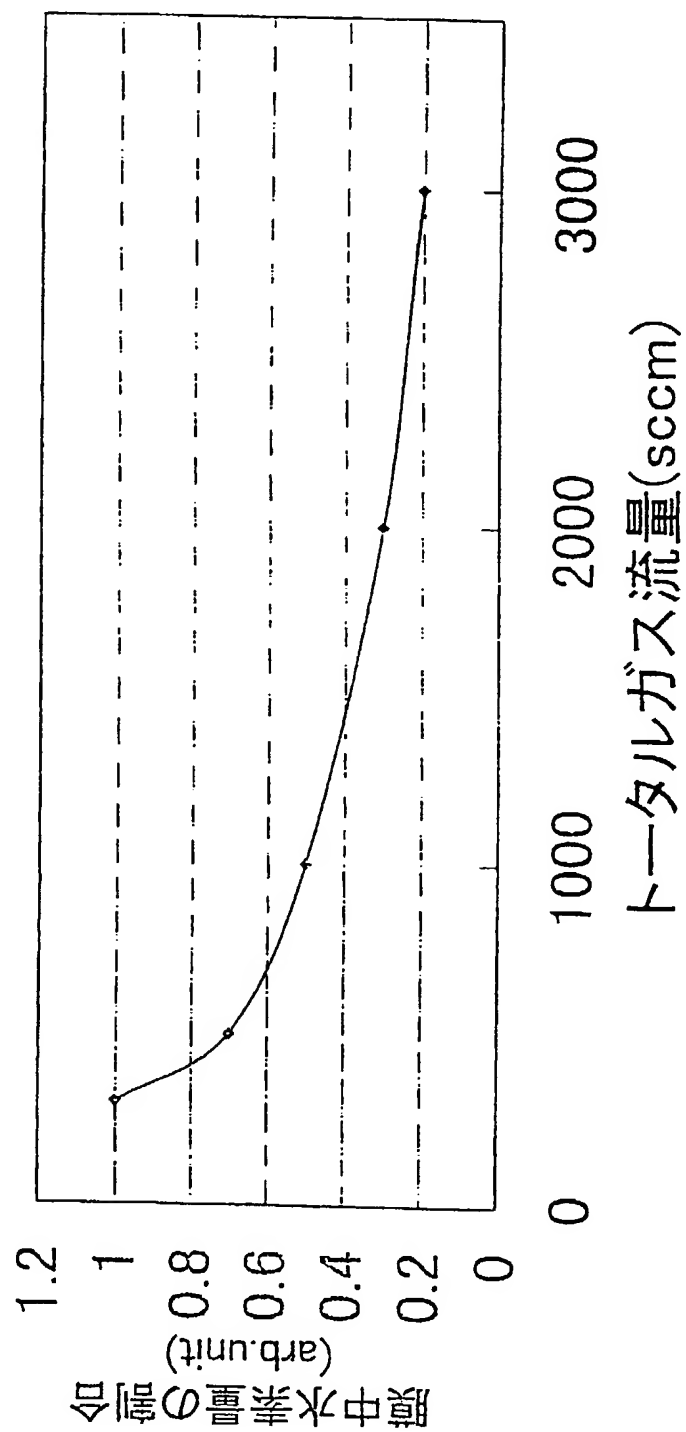


Fig. 7.6

66/79

多結晶シリコン(Pドーピング)の比抵抗のトータル
ガス流量依存性

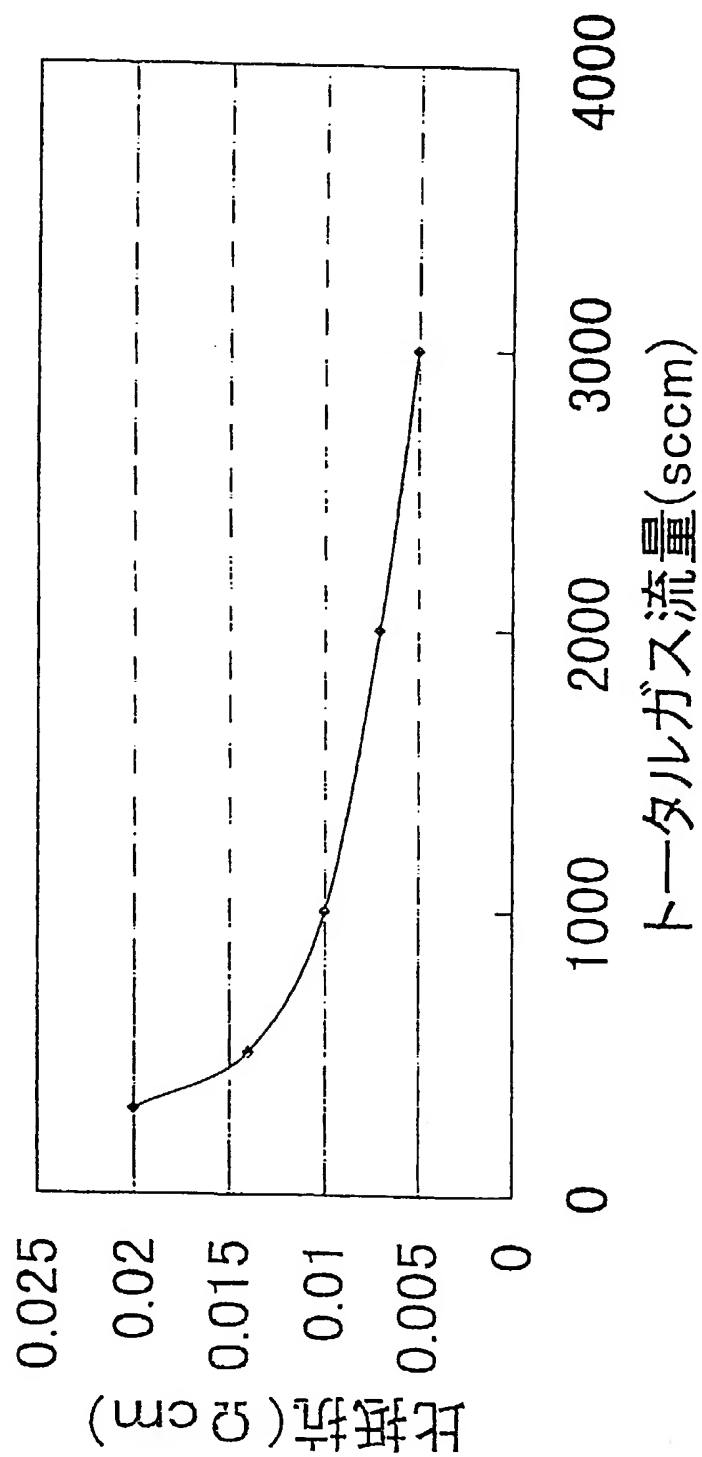


Fig. 77

67/79

SiNx膜の面内均一性のトータルガス流量依存性

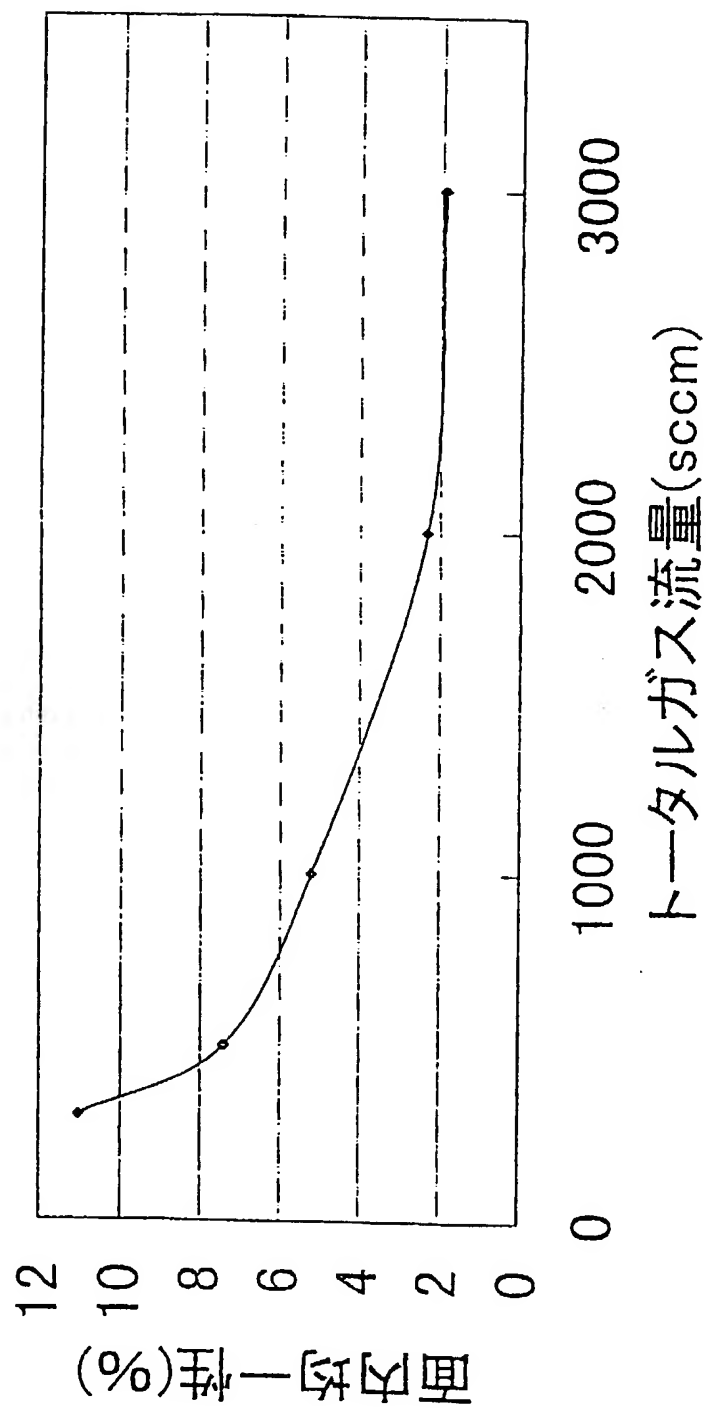


Fig. 78

68/79

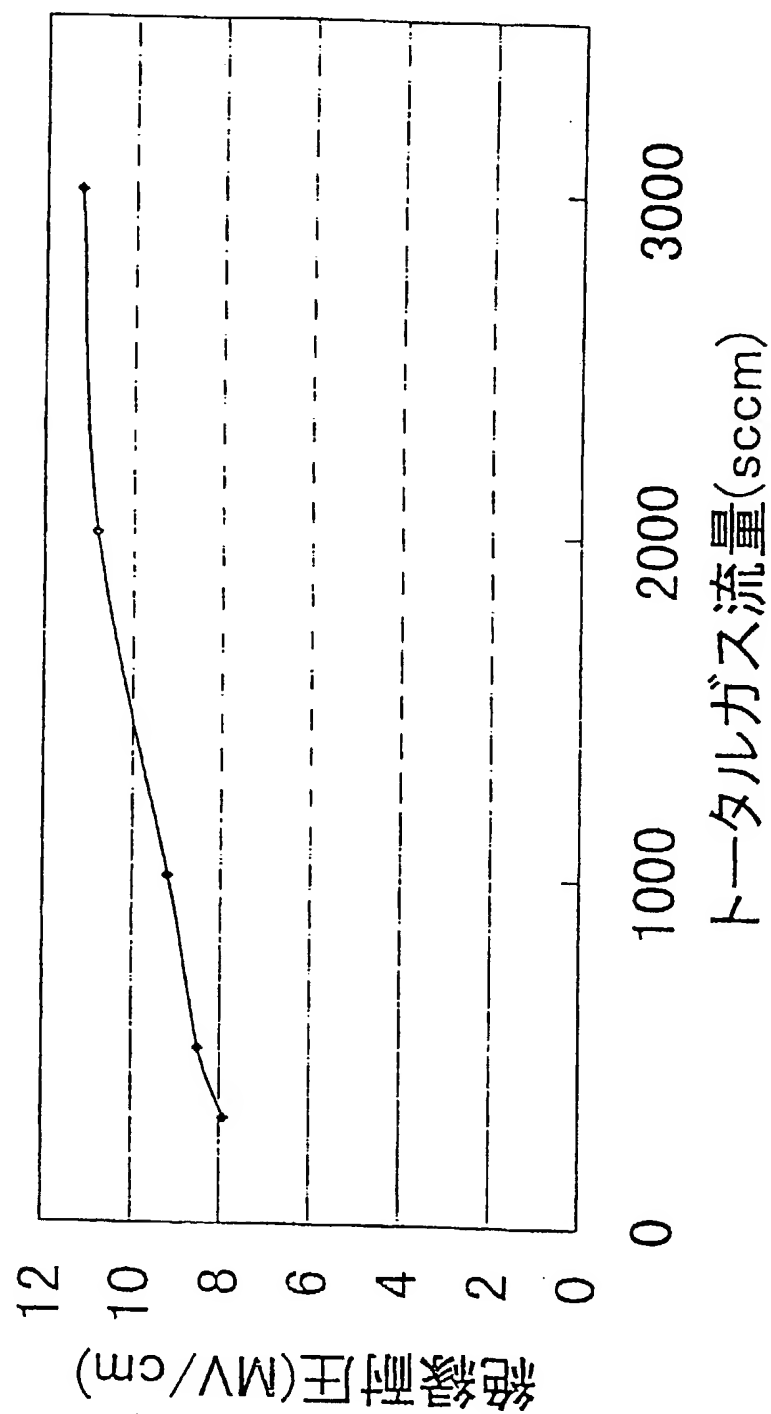
SiN_x膜の絶縁耐圧のトータルガス流量依存性

Fig. 79

69/79

Si_xN_y膜のSiとNの原子組成比に対するトータルガス流量依存性

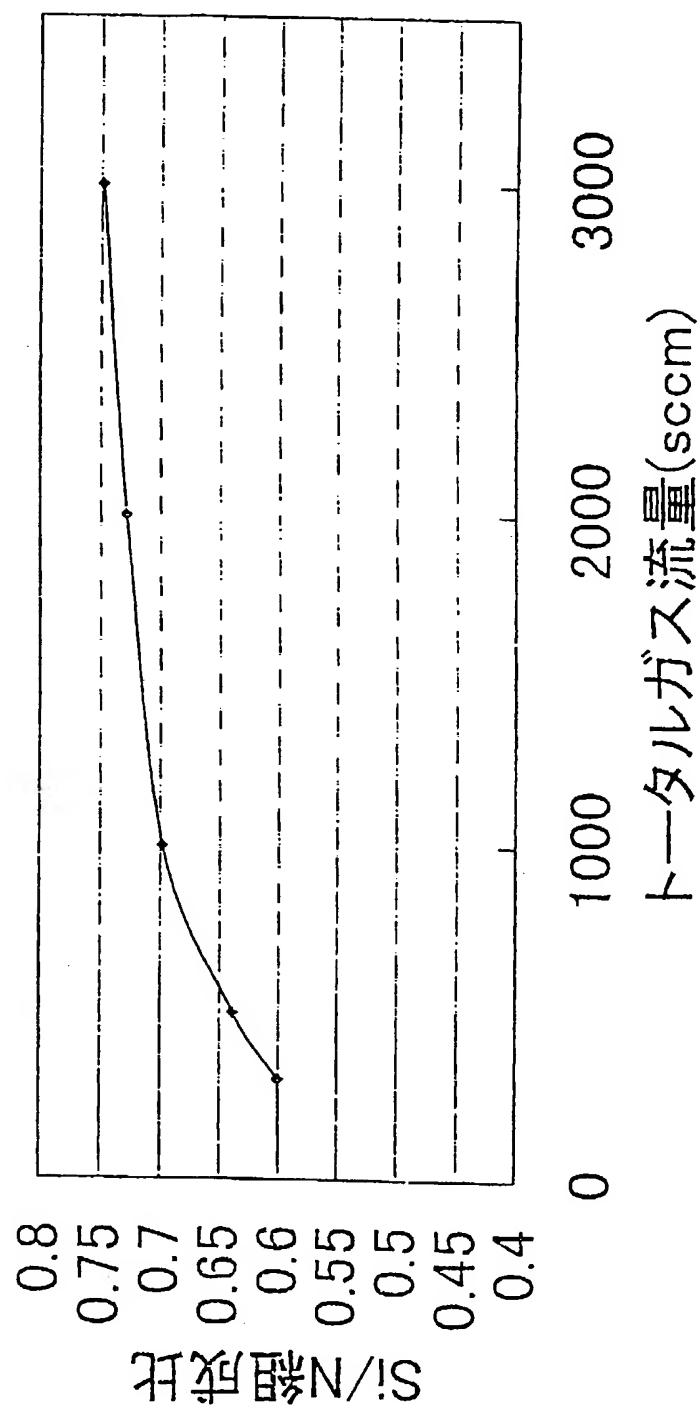


Fig. 80

フッ素カーボン膜デポジションレートの
トータルガス流量依存性

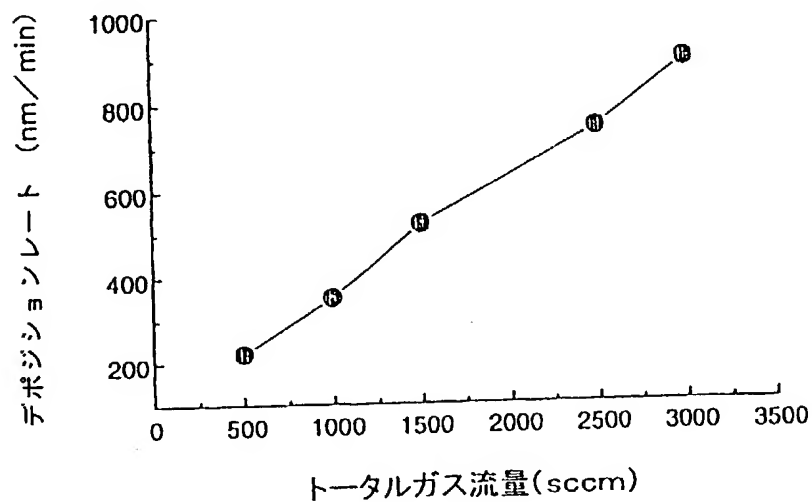
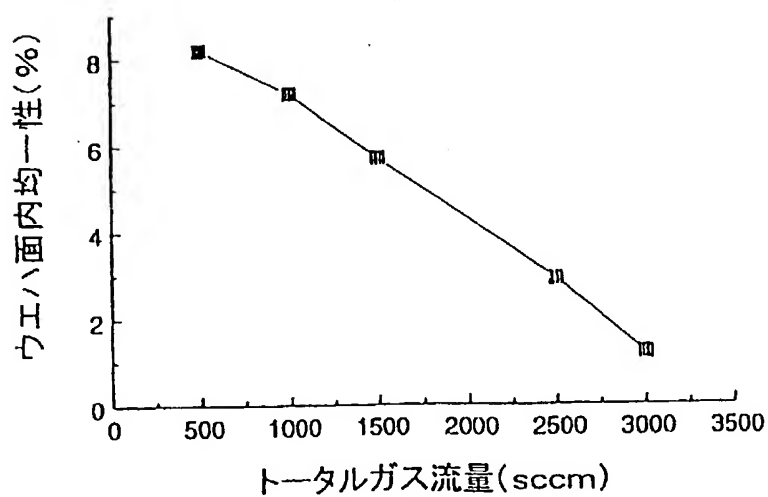


Fig. 81

フッ素カーボン膜デポジションレートの
ウェハ面内均一性のトータルガス流量依存性



71/79

Fig. 82

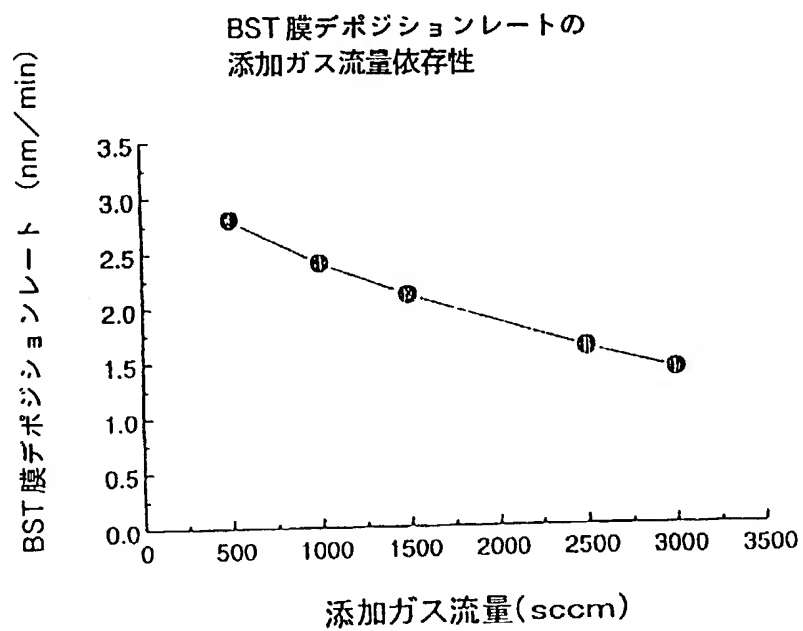


Fig. 83

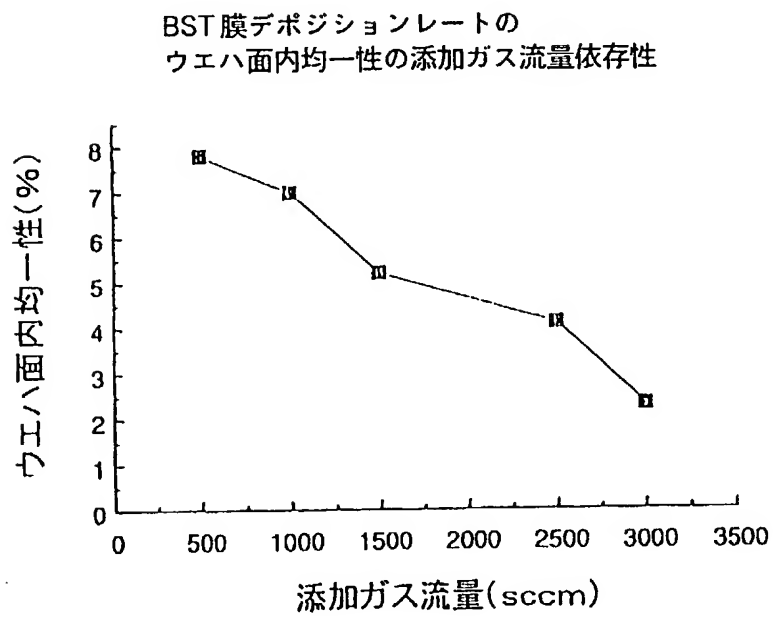
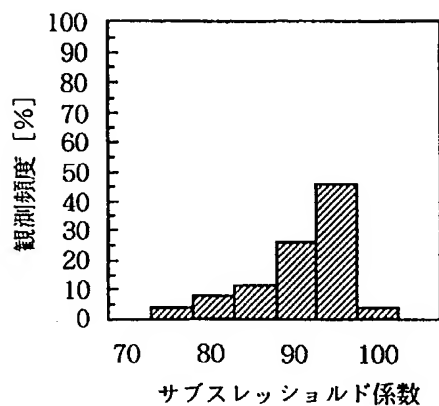
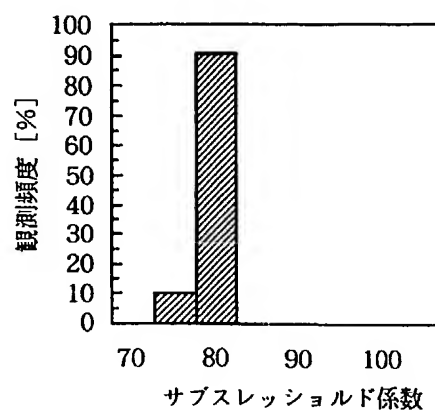


Fig. 86

73/79

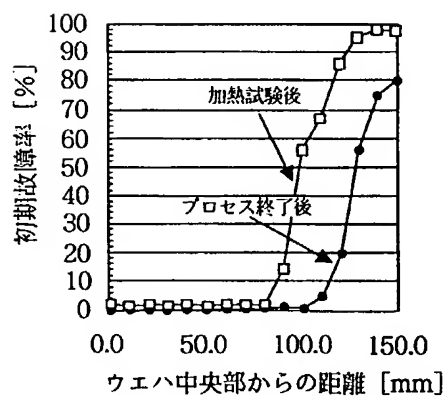


(a) 従来技術

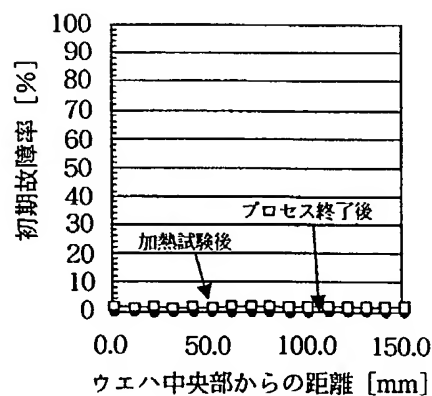


(b) 本発明

Fig. 87

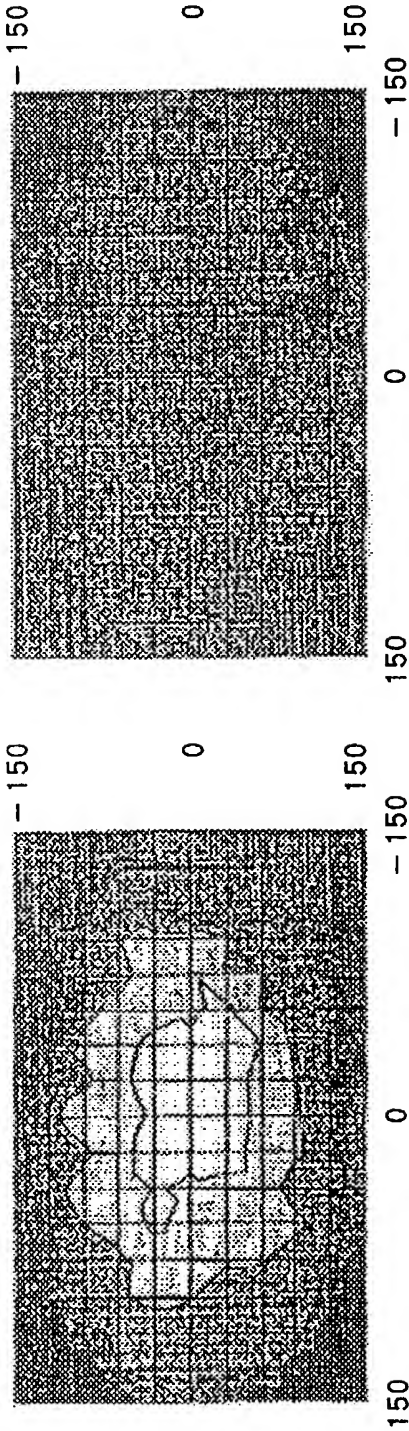


(a) 従来技術



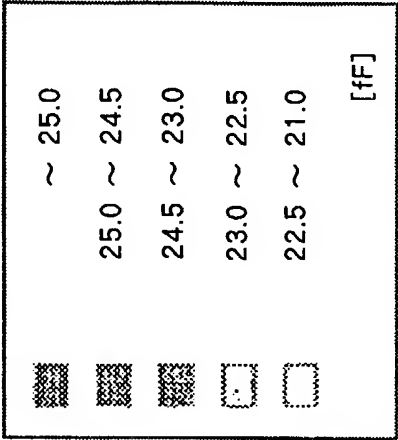
(b) 本発明

【図 8 8】

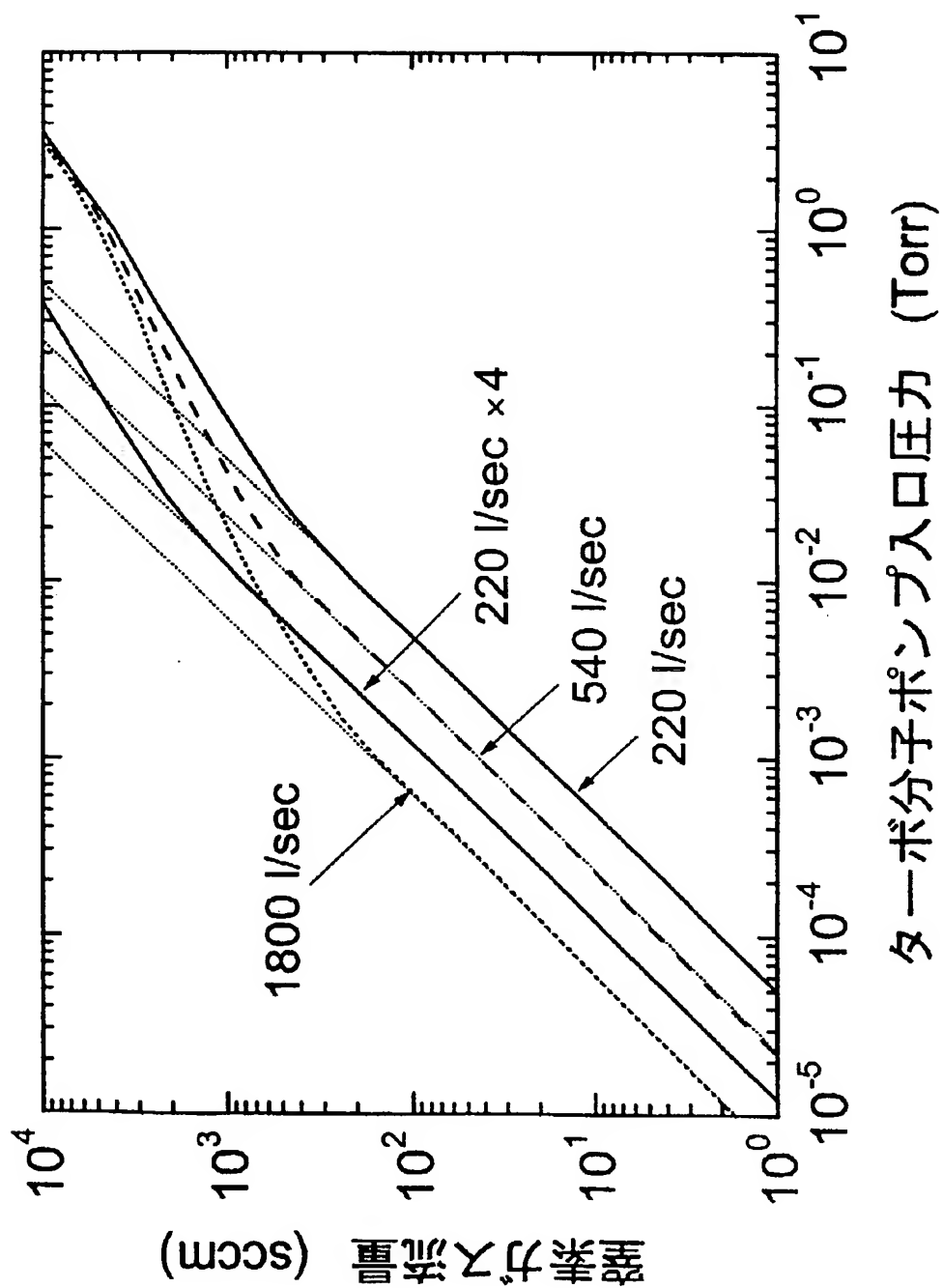


(a) 従来技術

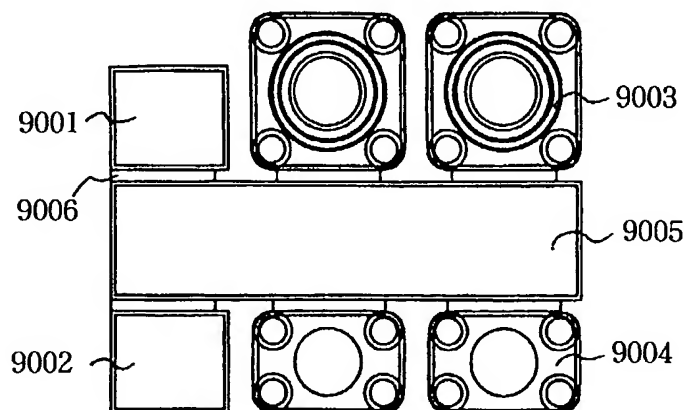
(b) 本発明



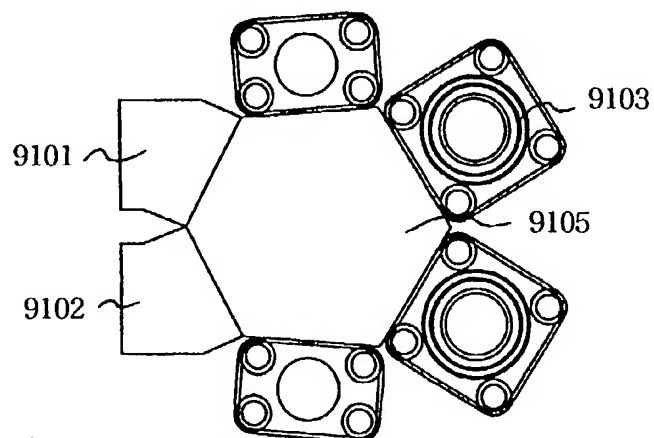
【図 8 9】



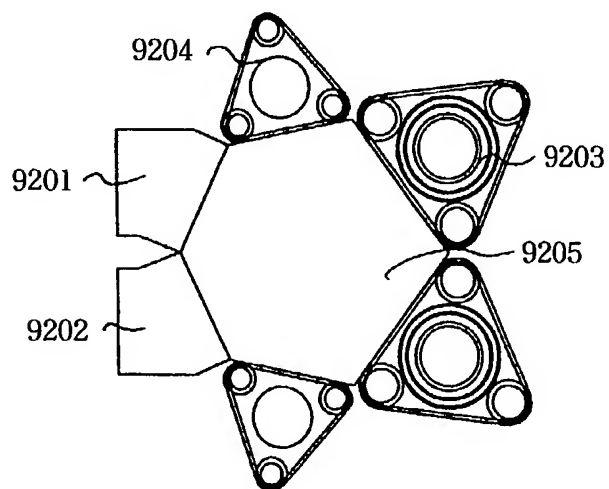
76/79



4角形のプロセスチャンバを組み合わせたクラスターツール (1)

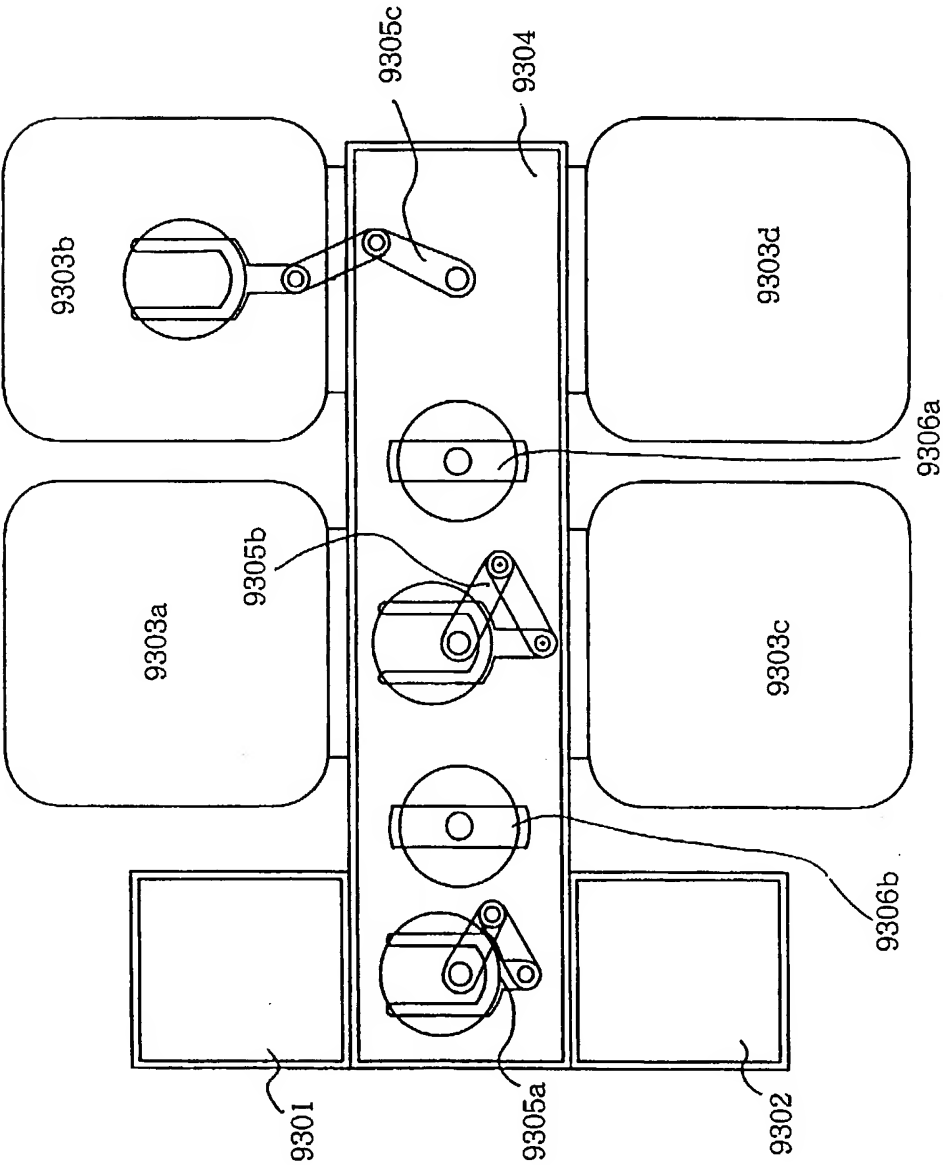


4角形のプロセスチャンバを組み合わせたクラスターツール (2)

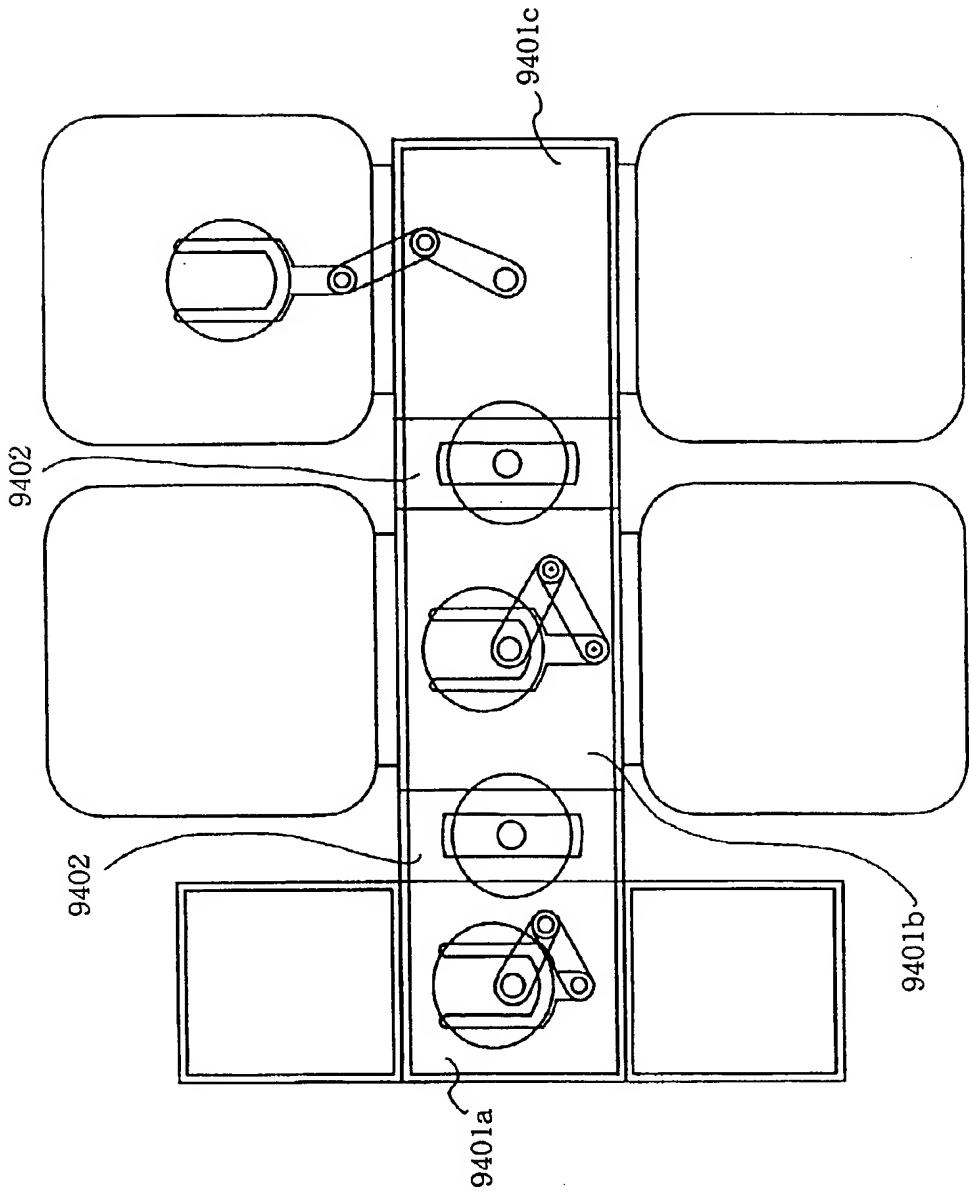


3角形のプロセスチャンバを組み合わせたクラスターツール

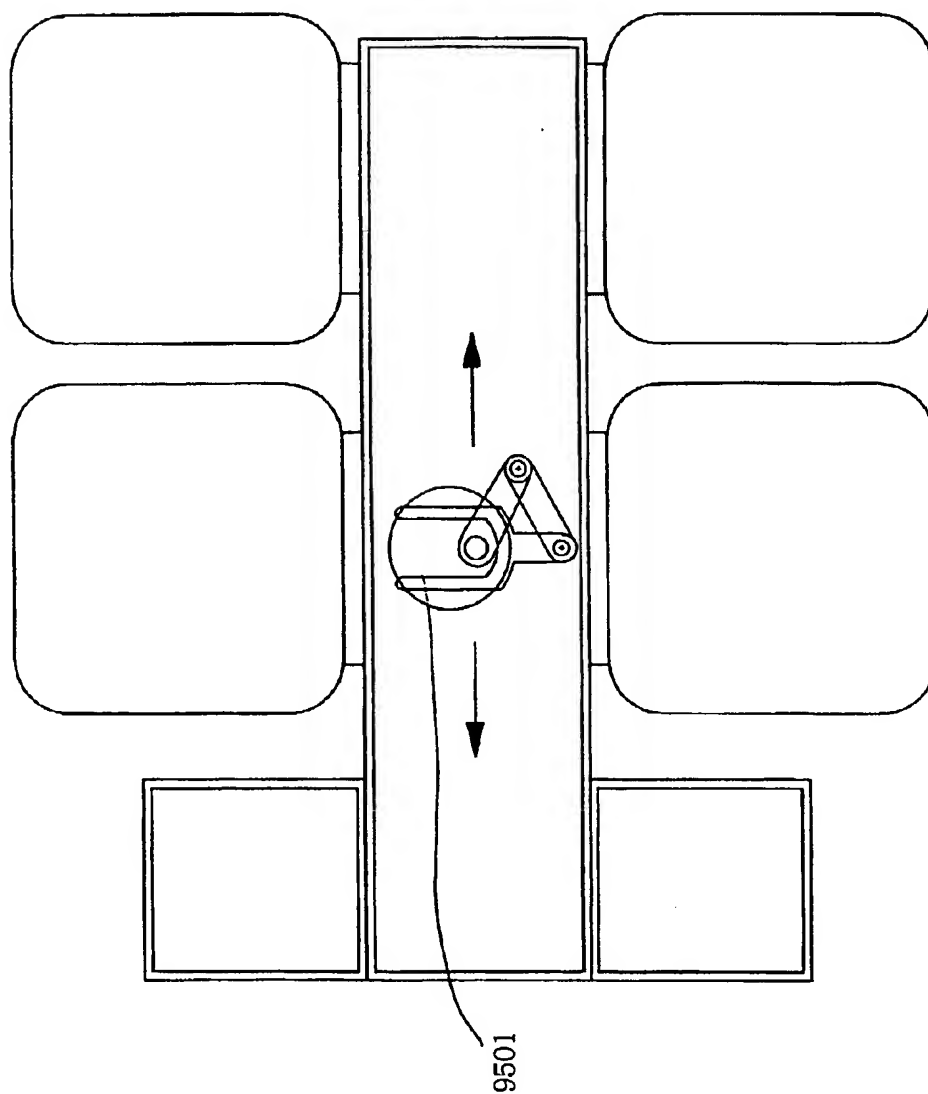
【図 93】



【図 9 4】



【図 95】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/00364

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁶ H05H1/46, H01L21/31, H01L21/3065, H01L21/205, C23F4/00, C23C16/50

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁶ H05H1/46, H01L21/31, H01L21/3065, H01L21/205, C23F4/00, C23C16/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1940-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-1998
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-1998	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP, 8-111297, A (Tokyo Electron Ltd.), April 30, 1996 (30. 04. 96), Par. Nos. [0014], [0052] ; Figs. 1, 2 (Family: none)	1, 9, 29-33 1, 25-26, 34 51-53 2-24, 27-28, 35, 54-73
Y	JP, 1-298183, A (NEC Corp.), December 1, 1989 (01. 12. 89), Claims ; page 2, upper left column, lines 9 to 15 ; Fig. 1 (Family: none)	1
Y	JP, 5-62913, A (Canon Inc.), March 12, 1993 (12. 03. 93), Par. No. [0033] ; Fig. 4 (Family: none)	25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
March 31, 1998 (31. 03. 98)Date of mailing of the international search report
April 7, 1998 (07. 04. 98)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/00364

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 7-307326, A (Sony Corp.), November 21, 1995 (21. 11. 95), Par. Nos. [0019], [0033] to [0035] ; Fig. 1 (Family: none)	26
X	JP, 6-224183, A (K.K. INR Kenkyusho), August 12, 1994 (12. 08. 94), Par. No. [0011] ; Fig. 2 (Family: none)	36-37, 47-50
Y		29, 38, 43-53
A		39-46
	JP, 63-50477, A (Fujitsu Ltd.), March 3, 1988 (03. 03. 88), Claims ; Fig. 1 & EP, 256577, A (88. 2. 24)	34
Y	JP, 9-27397, A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), January 28, 1997 (28. 01. 97), Par. Nos. [0007] to [0008] ; Fig. 2 (Family: none)	38, 41-43
Y	JP, 61-265820, A (Anelva Corp.), November 25, 1986 (25. 11. 86), Claims ; page 3, lower left column, lines 4 to 11 ; Fig. 2(b) (Family: none)	39-40
X		41-43
Y	JP, 3-55832, A (Toshiba Corp.), March 11, 1991 (11. 03. 91), Claims ; Fig. 1 (Family: none)	39-40
X		41-43
Y	JP, 8-45917, A (Hitachi, Ltd.), February 16, 1996 (16. 02. 96), Claim 66 ; Par. Nos. [0047] to [0048], [0053], [0066] ; Fig. 1 (Family: none)	47-50
X		44-46, 51-53
Y	JP, 4-221824, A (K.K. Orionikusu), August 12, 1992 (12. 08. 92), Fig. 3 (Family: none)	47
X		

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁶ H05H1/46, H01L21/31, H01L21/3065
H01L21/205, C23F4/00, C23C16/50

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁶ H05H1/46, H01L21/31, H01L21/3065
H01L21/205, C23F4/00, C23C16/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1940-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-1998年
日本国登録実用新案公報 1994-1998年
日本国実用新案登録公報 1996-1998年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP, 8-111297, A (東京エレクトロン株式会社) 30. 4月. 1996 (30. 04. 96) (ファミリーなし) 【0014】, 【0052】, 図1-2	1, 9, 29-33 1, 25-26, 34 51-53 2-24, 27-28, 35, 54-73
Y	JP, 1-298183, A (日本電気株式会社) 1. 12月. 1989 (01. 12. 89) (ファミリーなし) 特許請求の範囲, 第2頁左上欄第9-15行, 第1図	1

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31. 03. 98

国際調査報告の発送日

07.04.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

江塚 政弘

2G 7808

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 5-62913, A (キャノン株式会社) 12. 3月. 1993年 (12. 03. 93) (ファミリーなし) 【0033】, 図4	25
Y	J P, 7-307326, A (ソニー株式会社) 21. 11. 1995年 (21. 11. 95) (ファミリーなし) 【0019】, 【0033】-【0035】, 図1	26
X Y A	J P, 6-224183, A (株式会社アイ・エヌ・アール研究 所) 12. 8. 月. 1994年 (12. 08. 94) (ファミリーなし) 【0011】, 図2	36-37, 47-50 29, 38, 43-53 39-46
Y	J P, 63-50477, A (富士通株式会社) 3. 3月. 1988 (03. 03. 88) & EP, 256577, A (88. 2. 24) 特許請求の範囲, 第1図	34
Y	J P, 9-27397, A (沖電気工業株式会社) 28. 1月. 1997年 (28. 01. 97) (ファミリーなし) 【0007】-【0008】, 図2	38, 41-43
X Y	J P, 61-265820, A (日電アネルバ株式会社) 25. 11月. 1986年 (25. 11. 86) (ファミリーなし) 特許請求の範囲, 第3頁左下欄第4-11行, 第2図 (b)	39-40 41-43
X Y	J P, 3-55832, A (株式会社東芝) 11. 3月. 1991年 (11. 03. 91) (ファミリーなし) 特許請求の範囲, 第1図	39-40 41-43
X Y	J P, 8-45917, A (株式会社日立製作所) 16. 2月. 1996年 (16. 02. 96) (ファミリーなし) 請求項66, 【0047】-【0048】, 【0053】, 【00 66】, 図1	47-50 44-46, 51-53
X	J P, 4-221824, A (株式会社オリオニクス) 12. 8月. 1992 (12. 08. 92) (ファミリーなし) 図3	47